

**Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava**  
**Univerzitní studijní programy**

# **Simulace číslicových obvodů v prostředí OrCAD**

## **Simulation of digital circuits in OrCAD**

Student

David Dulanský

Vedoucí bakalářské práce

Ing. Tomáš Pavelek, Ph.D.

Ostrava 2014

## Zadání bakalářské práce

Student:

**David Dulanský**

Studijní program:

B3943 Mechatronika

Studijní obor:

3906R007 Automobilová elektronika

Téma:

Simulace číslicových obvodů v prostředí OrCAD  
Simulation of Digital Circuits in OrCAD

Zásady pro vypracování:

1. Uveďte odlišnosti a specifika simulací číslicových obvodů od simulací obvodů analogových.
2. Uveďte praktické příklady použití a nastavení různých typů zdrojů číslicových signálů.
3. Podle pokynů vedoucího proveďte simulace zaměřené na číslicové zpracování signálů z vybraných snímačů automobilové techniky.
4. Uveďte možnosti uplatnění provedených simulací v laboratoři automobilové elektroniky.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího bakalářské práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Pavelek, Ph.D.**

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.  
vedoucí katedry



prof. Ing. Petr Noskievič, CSc.  
prorektor pro studium

### **Místopřísežné prohlášení studenta**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité prameny.

V Ostravě 19.5.2014

David Jelenky  
podpis studenta

## Prohlášení o využití výsledků bakalářské práce

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo;
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užít (§ 35 odst. 3);
- souhlasím s tím, že bakalářská práce bude v elektronické podobě archivována v Ústřední knihovně VŠB-TUO a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že bibliografické údaje o bakalářské práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO;
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- bylo sjednáno, že užít své dílo, bakalářskou práci, nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 19.5.2014 .....

Dmit Bulandý .....

jméno a příjmení studenta

Adresa trvalého pobytu autora:

Vrchlického 192/3, 74301 Bílovec

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu této bakalářské práce panu Ing. Tomáši Pavelkovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a věnovaný čas.

## **Abstrakt**

Úvodní část této bakalářské práce je věnována základním pojmům z oblasti simulace systémů. Dále je rozebrána simulace číslicových obvodů v simulačním prostředí OrCAD a specifika nastavení číslicové simulace. Pozornost je věnována především nastavení různých typů zdrojů číslicového signálu a jejich využití. Využití zdrojů číslicového signálu je naznačeno na příkladech konkrétních číslicových obvodů. Druhá část je zaměřena na digitální zpracování signálů z vybraných snímačů používaných v automobilové technice. Výsledky simulací jsou uvedeny v grafické podobě. Závěrečná kapitola shrnuje využití uvedených simulací.

## **Klíčová slova**

OrCAD, číslicová simulace, zdroje číslicového signálu, termistor, odporový snímač polohy, zpracování signálu

## **Abstract**

The introductory part of this thesis is dedicated to basic concepts in the field of system simulation. It analyzes the simulation of digital circuits in OrCAD simulation environment and the specific settings of digital simulation. Attention is paid to the settings of different types of digital signal sources and their use. Resource utilization of the digital signal is shown in examples of specific digital circuits. The second part focuses on digital signal processing of the selected sensors used in automotive technology. The simulation results are presented in graphical form. The final chapter summarizes the use of the said simulation.

## **Keywords**

OrCAD, digital simulation, digital signal source, thermistor, RTD position sensor, signal processing

## **Seznam použitých symbolů a zkratek**

PC	Personal Computer – osobní počítač
LTM	Levé tlačítko myši
PTM	Pravé tlačítko myši
A/D	Analogově – digitální převodník
D/A	Digitálně – analogový převodník
MSB	Most Significant Bit – bit s nejvyšší hodnotou v binárním vyjádření čísla
LSB	Least Significant Bit – bit s nejnižší hodnotou v binárním vyjádření čísla
log. 1	Hodnota signálu logická 1
log. 0	Hodnota signálu logická 0
HC	High speed CMOS – vysokorychlostní CMOS obvod
HCT	High speed CMOS TTL Compatible – vysokorychlostní CMOS obvod kompatibilní s technologií TTL
CMOS	Complementary Metal–Oxide–Semiconductor - technologie výroby polovodičů
TTL	Transistor – Transistor Logic – tranzistorově tranzistorová logika
OrCAD	Oregon Computer Aided Design – počítačové nástroje pro vývoj a konstruování

# Obsah

Úvod.....	9
1    Základní pojmy.....	10
1.1    Modelování .....	10
1.2    Analýza .....	10
1.3    Simulace.....	10
2    Simulační program OrCAD.....	12
2.1    Historie.....	12
3    Smíšená a číslicová simulace .....	14
3.1    Smíšená simulace .....	14
3.2    Číslicová simulace .....	18
4    Logické symboly a operátory .....	20
5    Logické členy .....	21
5.1    Časovací model logických členů.....	22
5.2    Analýza Worst Case .....	23
6    Zdroje číslicového signálu.....	24
6.1    Zdroje HI a LO.....	24
6.2    DigClock .....	25
6.3    FileStim .....	25
6.4    Stim n .....	27
6.5    DigStim .....	31
6.6    Připojení vícebitových zdrojů na sběrnici.....	33



6.7	Praktické využití číslicových zdrojů .....	34
7	Nastavení simulačního profilu pro číslicovou simulaci .....	37
8	Chybové stavy během simulace .....	39
9	Simulace číslicového zpracování signálů ze snímačů .....	40
9.1	Odporový snímač polohy .....	40
9.2	Odporový snímač teploty .....	45
10	Možnosti uplatnění simulací .....	50
11	Závěr .....	52
12	Seznam použité literatury .....	53
13	Seznam příloh .....	55

## Úvod

Simulace představuje účinnou techniku, jak zrychlit proces návrhu, konstrukce, optimalizace a tím i výroby elektronických obvodů. S vytvořeným modelem elektronického obvodu můžeme provádět experimenty, bez dopadu kolizních stavů na samotné zařízení. V praxi je potřeba často analyzovat vlastnosti a chování obvodu v jeho mezních stavech, které při jeho činnosti nesmí nastat. Analýza takovýchto vlastností na reálném zařízení by byla jak časově, tak hlavně finančně velice nákladná. Rozvoj výpočetní techniky přispěl k rozšíření modelování a simulace do širokého spektra vědních oborů. [1]

V současnosti mají elektronické číslicové obvody své nezastupitelné místo především v oblasti výpočetní techniky, která nalézá uplatnění i ve zpracování analogových signálů např. obrazových, zvukových nebo signálů z různých snímačů. [2]

Číslicové obvody jsou sestaveny z analogových součástek, avšak jejich simulace na této úrovni by byla z důvodu velikosti analyzovaného obvodu prakticky nemožná. Velikost běžných číslicových obvodů může dosahovat počtu tisíců logických členů (hradel). Vzniklý analogový model by pak dosahoval až desítek tisíc tranzistorů. Z tohoto důvodu bylo zavedeno dělení obvodů na analogové a číslicové.

Na trhu softwaru existuje mnoho programů určených k modelování a simulaci elektronických obvodů jak analogových, tak číslicových. Jedním z nich je program OrCAD, který umožňuje analogovou, smíšenou i číslicovou simulaci, kterou se zabývá tato bakalářská práce.

# 1 Základní pojmy

## 1.1 Modelování

*„Modelování je proces popisování reality omezenými prostředky, které máme k dispozici. Výsledkem je model originálního objektu.“ [3]*

Modelování je první a nezbytný krok k získání výsledků simulace. Na kvalitě vytvořeného modelu závisí přesnost výsledků získaných simulací analyzovaného systému. Základním požadavkem je, aby model zachovával podobnost, zejména ve zkoumané oblasti, s originálním systémem. Modely jsou na základě této podobnosti děleny na dvě základní skupiny a to: model abstraktní – podobný svým chováním a fyzický – podobný svou strukturou. [4]

Abstraktní modely jsou nejčastěji získány matematickým popisem zkoumaného objektu. Tento typ modelu je s výhodou využíván k simulaci chování číslicových obvodů.

## 1.2 Analýza

*„Analýza je jednorázová činnost, kdy zkoumáním modelu se pokoušíme zjistit určitou vlastnost originálu.“ [3]*

Při této činnosti je známa struktura analyzovaného systému. Cílem analýzy je na základě experimentů zjistit vlastnosti modelu. Je to jedna ze základních typů úloh prováděných na modelech. [4]

## 1.3 Simulace

*„Simulace je činnost, kdy analýzou modelu se pokoušíme o získání co nejvěrnějšího obrazu chování originálu za přesně stanovených podmínek.“ [3]*

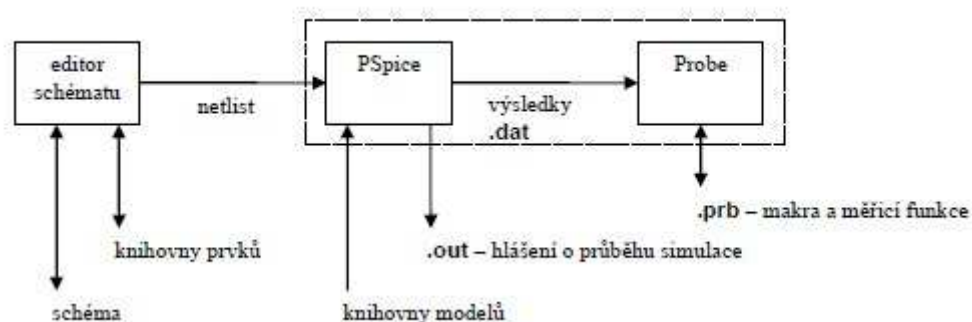
Simulace systému je prováděna za účelem zisku důležitých informací o chování systému ještě před jeho konkrétní realizací. Simulace nemusí být nutně prováděna na

číslicovém počítači, ačkoliv právě toto řešení je dnes stále více preferováno. Výhoda simulace systému na počítačích tkví především ve velkém výpočetním výkonu, dálkové dostupnosti přes síť a jejich obecnému využití pro řešení široké škály problémů. [5]

K simulaci na počítači je využíváno tzv. simulačního programu. Ten obvykle obsahuje schématický editor, pomocí něhož je sestaven matematický model simulovaného elektronického obvodu. Sestavení matematického modelu je tak ulehčeno tím, že samotný simulační program obsahuje složité a podrobné matematické modely součástí. Matematický model celého elektronického obvodu je pak zcela sestaven simulačním programem. [3]

## 2 Simulační program OrCAD

Simulační program OrCAD představuje nástroj pro návrh elektronických schémat, plošných spojů, analogovou i číslicovou simulaci a návrh programovatelných obvodů. Je založen na modulární struktuře. Sestává se ze samostatných návrhových a simulačních programů, které jsou schopny mezi sebou komunikovat v reálném čase.



Obrázek 1: Průběh simulace z hlediska výměny dat mezi moduly [6]

Pro návrh obvodového schématu analyzovaného systému je určen program Capture, který umožňuje práci s knihovnami schématických značek. Program obsahuje nástroje pro nastavení běhu simulace a způsobů zobrazení výstupních dat.

Simulace chování navrhnutého elektrického obvodu probíhá v programu PSpice, který tvoří výpočetní jádro simulačního programu. Výsledky simulace jsou pak reprezentovány výstupním souborem, který zpracovává program Probe. Program Probe je nástrojem pro zobrazení výsledků simulace v grafické podobě a zastává funkci číslicového osciloskopu. Umožňuje také editaci zobrazených výstupních veličin, provádění měření pomocí kurzorů a základních výpočtů souvisejících s výstupními daty. [7]

### 2.1 Historie

Historie simulačního programu PSpice sahá do roku 1960, kdy jej vyvinul profesor Ronald Rohrer spolu s některými svými studenty na univerzitě v Berkeley. Tento program nesl označení CANCER. Program CANCER byl dále vyvíjen a vylepšován. V roce 1970

profesor Rohrer opustil univerzitu a program CANCER, byl přepracován a přejmenován na SPICE (Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis). Tento program umožňoval analýzu dějů v obvodech, obsahujících zejména bipolární a unipolární tranzistory. V roce 1975 vznikla zdokonalená verze programu označována jako SPICE2. SPICE2 obsahoval zdokonalené modely součástek a také přepracované algoritmy numerických výpočtů. Program SPICE se stal volně šiřitelným, k čemuž výrazně přispěl profesor Donald Pederson Berkeley, který věřil, že velkého technického pokroku se dosáhne jen tehdy, pokud budou informace volně dostupné. Tato vize se ukázala jako úspěšná a program se brzy stal standardním simulačním nástrojem pro elektrotechnické úlohy.

V roce 1985 byl program SPICE2 přepsán z původního programovacího jazyka FORTRAN do programovacího jazyka C a vydán pod označením SPICE3. Tato verze obsahovala nové modely např. tranzistory typu MOSFET. Díky programovacímu jazyku C se program SPICE začal využívat na výkonných pracovních stanicích na bázi operačního systému Unix.

S nárůstem výkonnosti osobních počítačů došlo k přeprogramování programů na programy spustitelné pod operačními systémy MS-DOS na platformách PC. Program SPICE spustitelný na osobních počítačích byl označen jako PSPICE. [8]

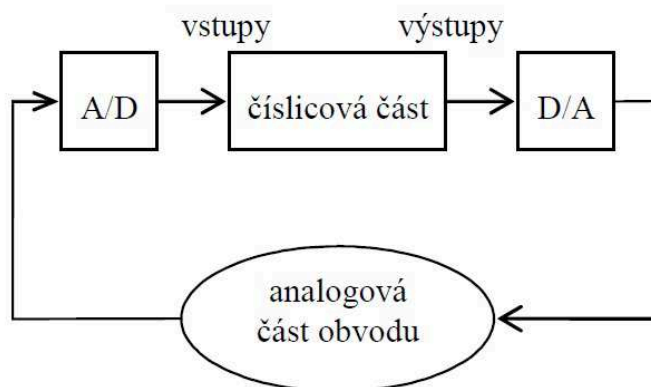
### 3 Smíšená a číslicová simulace

Program OrCAD nabízí vedle analogové také smíšenou a číslicovou simulaci elektronických obvodů. Tato práce je zaměřená na číslicovou simulaci, proto bude dále popsána pouze smíšená a číslicová simulace.

Základním rozdílem číslicové simulace oproti analogové je ve formě zobrazení výstupních veličin simulace. Velikost příslušných napětí a proudů v obvodu není pro číslicovou simulaci důležitá, a proto je využito zobrazení výstupních veličin ve formě logických stavů, popisujících chování analyzovaného obvodu v závislosti na čase. Aby bylo možno tohoto zjednodušení využít, musí být dodržena jistá pravidla např. logický zisk, blokování napájecího napětí apod. [6]

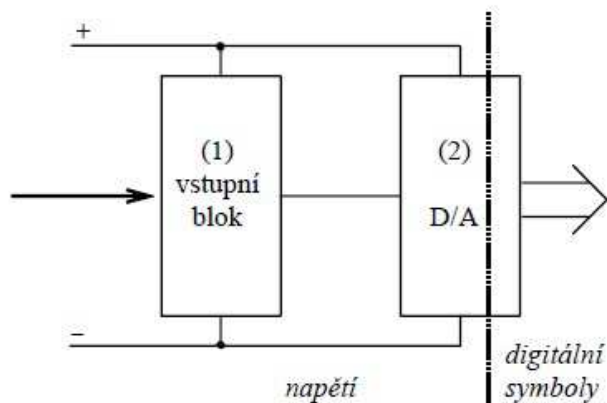
#### 3.1 Smíšená simulace

Pod pojmem smíšený obvod rozumíme takový obvod, který obsahuje jak analogové tak číslicové prvky. Tento obvod vznikne propojením analogového a digitálního prvku. Toto propojení je možné na základě A/D nebo D/A převodníků, které převádí analogové veličiny na logické stavy a naopak. Program PSpice zařadí tyto převodníky automaticky do místa propojení, avšak v elektrickém schématu nejsou vyobrazeny.



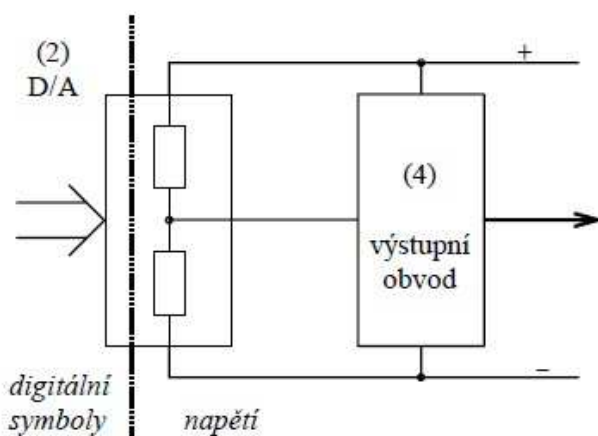
Obrázek 2: Smíšený obvod - rozdělení na analogovou a číslicovou část [6]

Pokud při návrhu elektrického obvodového schématu dojde k přivedení analogového signálu na vstup digitální součástky, je zde automaticky zařazen A/D převodník. A/D převodník obsahuje speciální model součástky, která zajišťuje převod napětí na logické úrovni. [6]



Obrázek 3: Struktura A/D převodníku [6]

Pokud dojde k propojení výstupu digitálního prvku s analogovým uzlem je zde automaticky vložen D/A převodník, který obsahuje speciální součástku pro převod logických symbolů na příslušné napěťové úrovni. [6]



Obrázek 4: Struktura D/A převodníku [6]



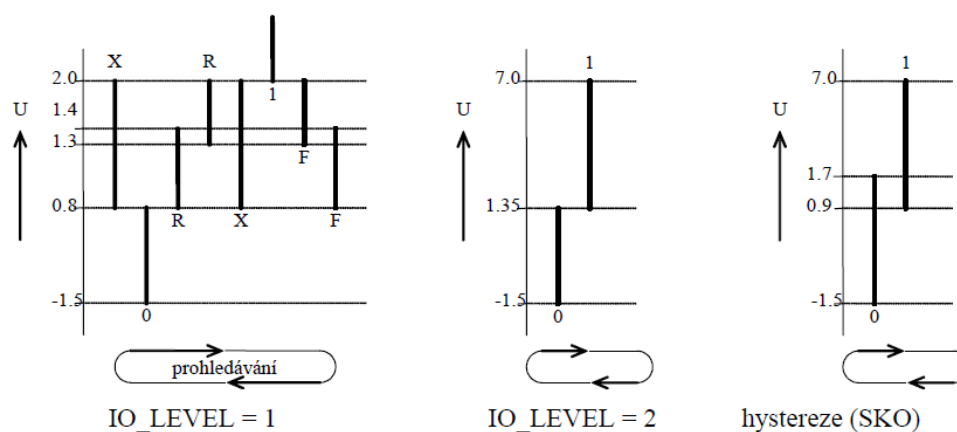
Napájení A/D a D/A převodníků, automaticky vložených programem PSpice do obvodu, zabezpečují skryté napěťové zdroje, které taktéž nejsou ve schématu viditelně zobrazeny.

Pro potřeby simulace lze nastavit vlastnosti A/D a D/A převodníků, které charakterizuje parametr s názvem IO\_LEVEL. Hodnoty, kterých může parametr IO\_LEVEL nabývat, jsou uvedeny v tabulce č. 1:

Tabulka 1: Hodnoty parametru IO\_LEVEL [6]

0	Logický člen přebírá globální nastavení
1	A/D převodník produkuje symboly: 0, 1, R, F, X
2	A/D převodník produkuje symboly 0 a 1
3	A/D převodník produkuje symboly: 0, 1, R, F, X pro prvky HC a HCT
4	A/D převodník produkuje symboly 0 a 1 pro prvky HC a HCT

Důležitou vlastností chování A/D a D/A převodníků jsou jednotlivé napěťové úrovně logických stavů, jejichž hodnoty jsou úzce svázány s volbou parametru IO\_LEVEL. Chování A/D a D/A převodníků popisuje obrázek č. 9.

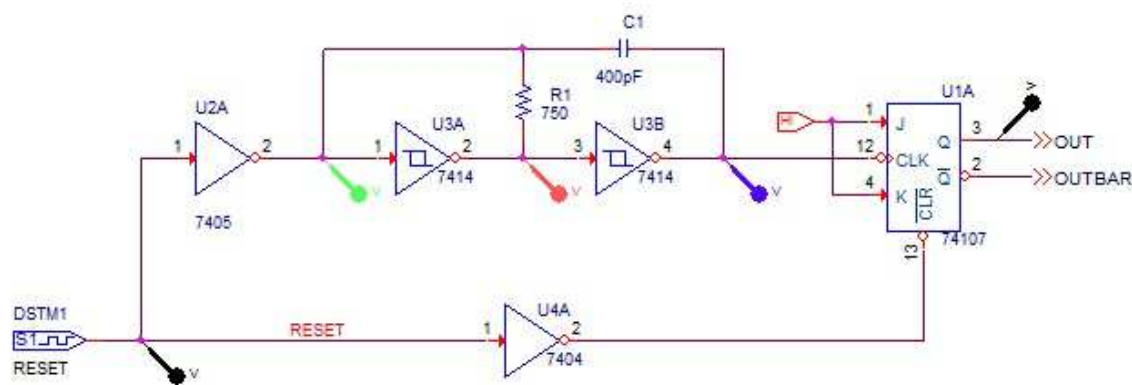


Obrázek 5: Funkce A/D převodníku - napěťové úrovně [6]

Simulační program OrCAD po spuštění simulace vyhledává napětí od prvního intervalu, pokud se v něm napětí nenachází, prohledávají se další intervaly dle

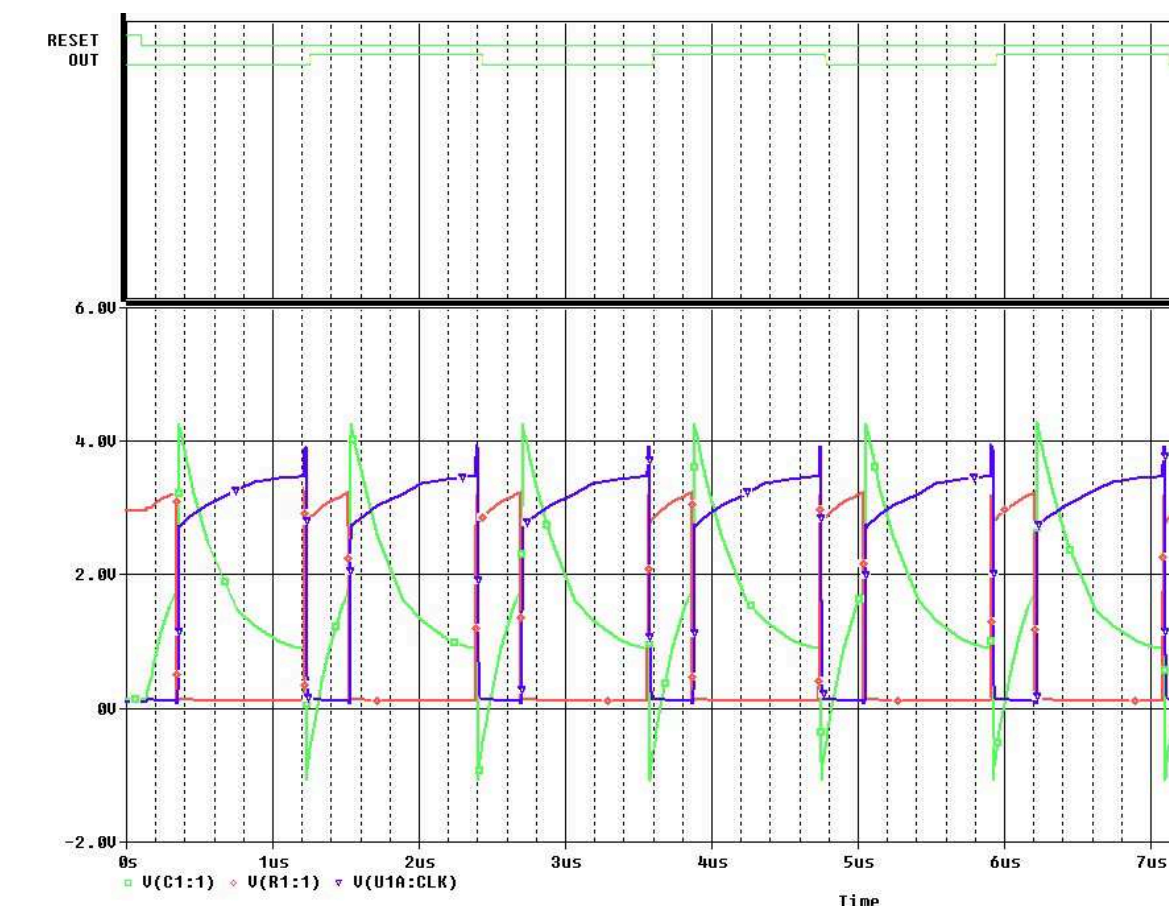
naznačeného směru v obrázku č. 9. Při neúspěšném vyhledávání se zvolí interval, který je napětově nejblíže a simulační program vypíše varování. [6]

Jako příklad smíšené simulace je uveden ukázkový obvod programu OrCAD, který nalezneme v adresáři *OrCAD\tools\pspice\capture\_samples\mixsim\osc\*



Obrázek 6: Ukázka smíšeného obvodu

Barevné sondy ve schématu značí měření analogových veličin. Sondy měřící digitální úrovně jsou zobrazeny vždy černě. V uzlech propojujících analogové a digitální komponenty obvodu jsou automaticky programem PSpice zapojeny A/D a D/A převodníky, které nejsou ve schématu patrné.



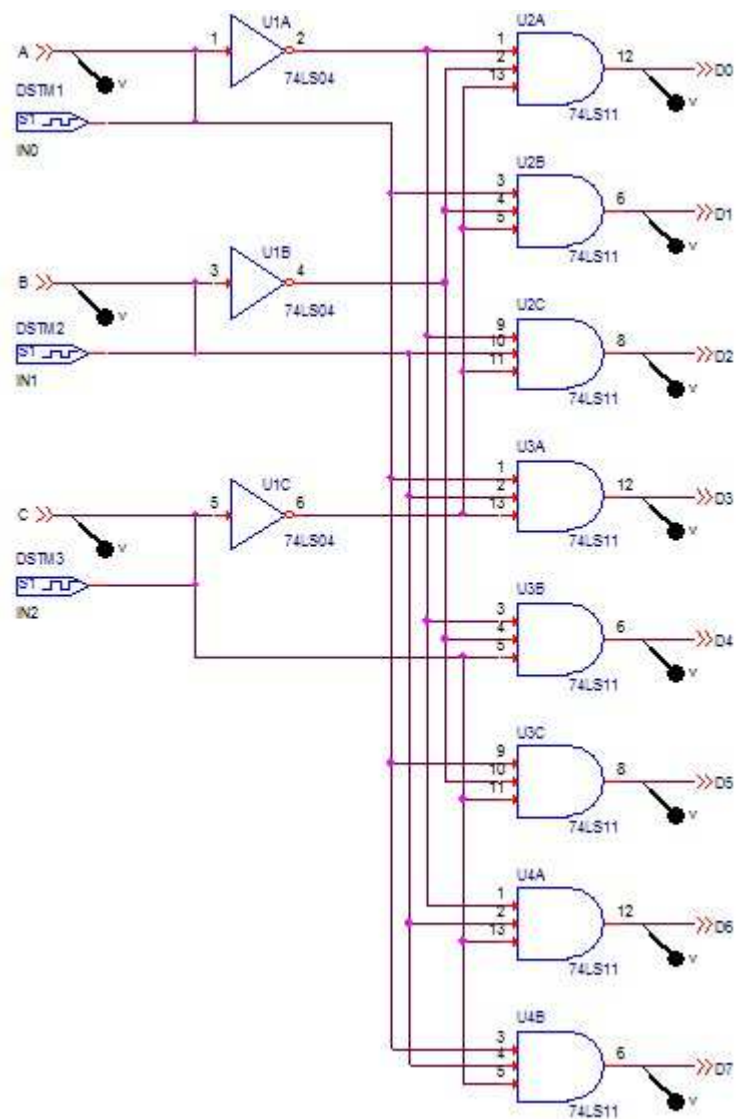
Obrázek 7: Výstup smíšené simulace

Při zobrazení výsledků smíšené simulace se v programu Probe výstupní obrazovka automaticky rozdělí na digitální a analogovou část. Poměr rozdělení výstupní obrazovky lze nastavit v menu: *Plot* → *Digital Size*.

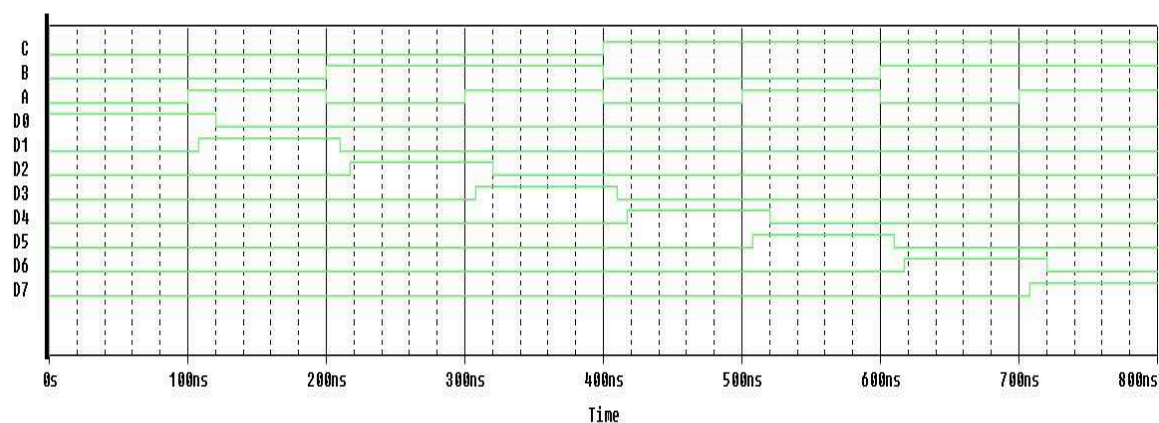
### 3.2 Číslicová simulace

Číslicová simulace využívá čistě digitální komponenty. Výstupem jsou pouze logické úrovně jednotlivých komponent.

Jako příklad číslicové simulace je uveden ukázkový obvod programu OrCAD, který nalezneme v adresáři *OrCAD\tools\pspice\capture\_samples\digsim\decoder\*



Obrázek 8: Ukázka číslicového obvodu – dekodér



Obrázek 9: Výstup číslicové simulace

## 4 Logické symboly a operátory

Program OrCAD PSpice využívá označení logických stavů, které popisuje tabulka č. 2.

*Tabulka 2: Logické symboly simulačního programu OrCAD PSpice [6]*

Symbol logického stavu	Význam
0, 1	Prvky Booleovy algebry – log. 1, log. 0
R	Přechod $0 \rightarrow 1$ . Trvání tohoto symbolu vyjadřuje časovou neurčitost, v kterémkoliv okamžiku může nastat přechod.
F	Přechod $1 \rightarrow 0$ , podobně jako symbol R.
X	Neurčitý stav. Vyjadřuje neurčitost hodnoty signálu
Z	Stav vysoké impedance. Uplatní se pouze pro řízení D/A převodníků. Pokud je přiveden na vstup logického členu, tak se převádí na stav X.

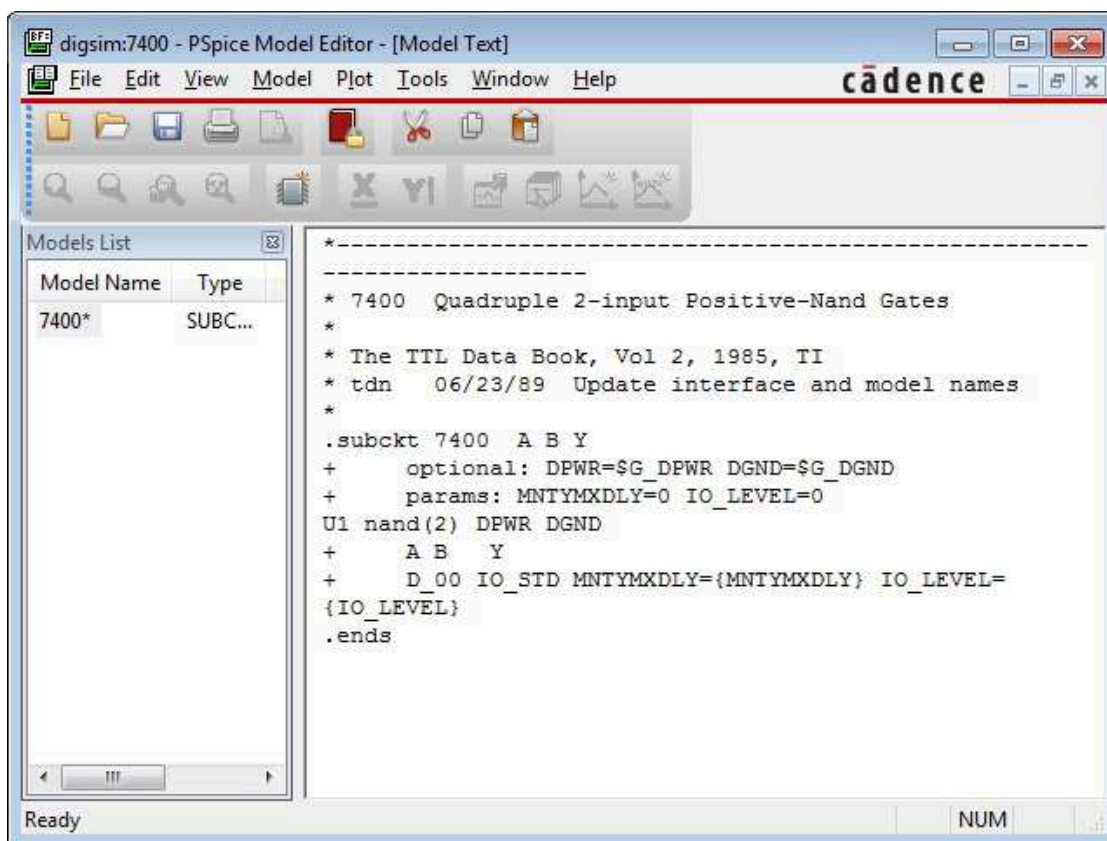
Logické operátory v programu OrCAD PSpice popisuje tabulka č. 3.

*Tabulka 3: Logické operátory simulačního programu OrCAD PSpice [6]*

Symbol logického operátoru	Logický operátor
~	NOT
	OR
^	XOR
&	AND

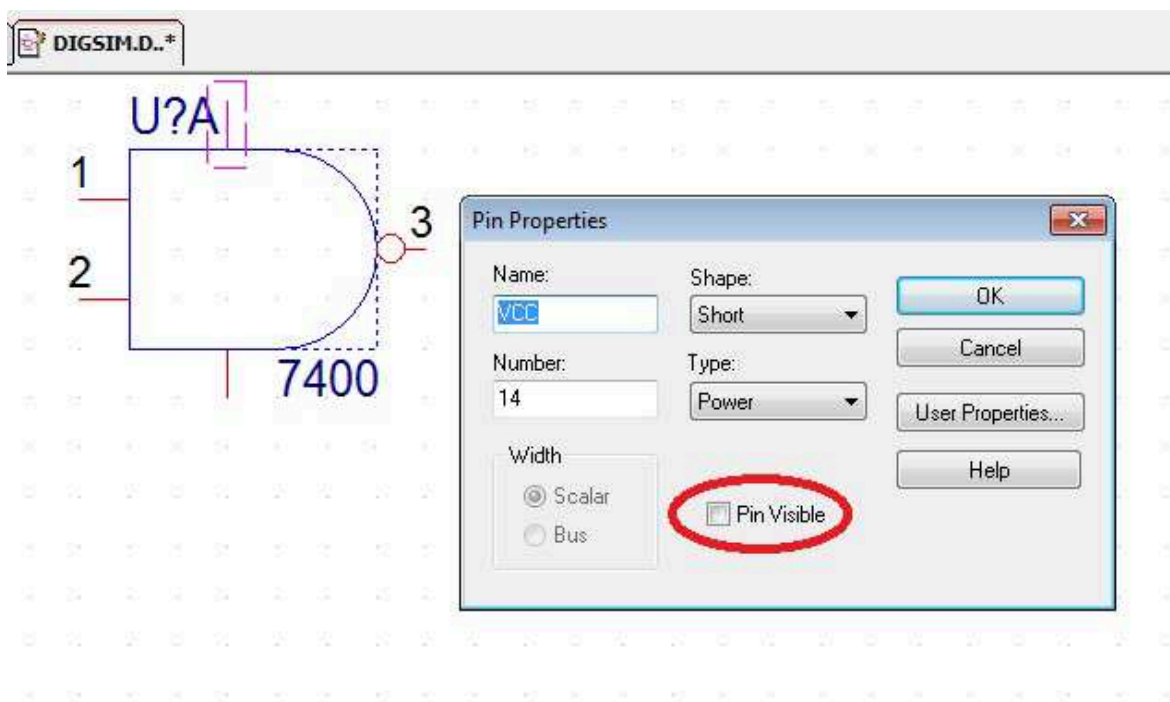
## 5 Logické členy

Logické členy zpracovávají signály nabývající diskretních hodnot. Každý logický člen je jednoznačně definován svým vstupem, výstupem. Logické členy modelují pouze logickou funkci a zpoždění.



Obrázek 10: PSpice model hradla NAND

Logické členy nemají referenční uzel ani napájení, respektive jejich piny napájení (VCC) a uzemnění (GND) jsou skryty. Jejich viditelnost je nastavena v editoru schématické značky součástky a může být změněna po kliknutí PTM příkazem *Edit Part*. Poté po označení příslušného pinu, kliknutím LTM, lze vyvolat nabídku kliknutím PTM a příkazem *Edit Properties* nastavit viditelnost pinu. [6]



Obrázek 11: Nastavení viditelnosti pinů

## 5.1 Časovací model logických členů

Každý logický člen obsahuje časovací model. Časové údaje logických členů reprezentuje parametr s názvem MNTYMXDLY. Tento parametr nabývá hodnot:

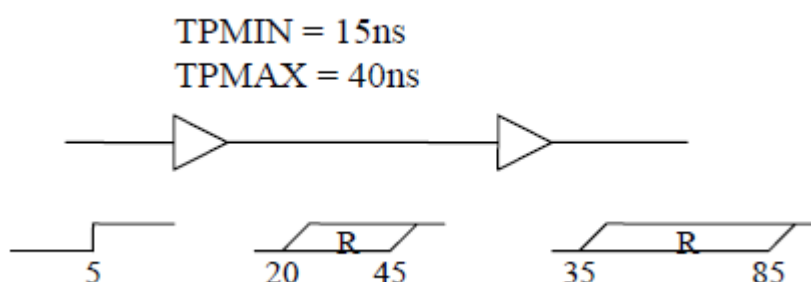
Tabulka 4: Hodnoty parametru MNTYMXDLY [6]

0	Logický člen přebírá globální nastavení
1	Minimální hodnoty
2	Typické hodnoty
3	Maximální hodnoty
4	Časování Worst Case

Standardně jsou časové hodnoty pro všechny prvky nastaveny na hodnotu 0. Globální nastavení všech číslicových prvků je možno provést v nastavení simulačního profilu (viz kapitola 7).

## 5.2 Analýza Worst Case

Logické členy ve svých časových parametrech obsahují interval minimálního a maximálního zpoždění, který udává výrobce. Analýza *Worst Case* při simulaci zohledňuje časovou neurčitost zpoždění logických členů, která se šíří číslicovým obvodem. Neurčité stavy jsou reprezentovány hodnotami R a F (viz kapitola 5).



Obrázek 12: Šíření časové neurčitosti logickým obvodem [6]

Na obrázku č. 12 je patrné chování obvodu při výskytu časové neurčitosti. Pokud v čase 5 ns nastane na vstupu logického členu přechod, časové zpoždění tohoto členu zapříčiní, že odezva logického členu leží někde v jeho tolerančním intervalu. Neurčitost logické hodnoty signálu proto trvá v rozmezí od 20 ns do 45 ns. Vstup do dalšího logického členu tento neurčitý stav ještě rozšíří.



Obrázek 13: Působení neurčitosti na sekvenční obvod [6]

Pokud je na vstupu klopného obvodu D neurčitý stav v době vzorkování (signál C má hodnotu log. 1), jeho výstup bude X, tedy může nabývat buď hodnoty log. 1 nebo log. 0. Jestliže je na vstupu neurčitý stav mimo náběžnou hranu signálu C, šíří se logickým obvodem dále.

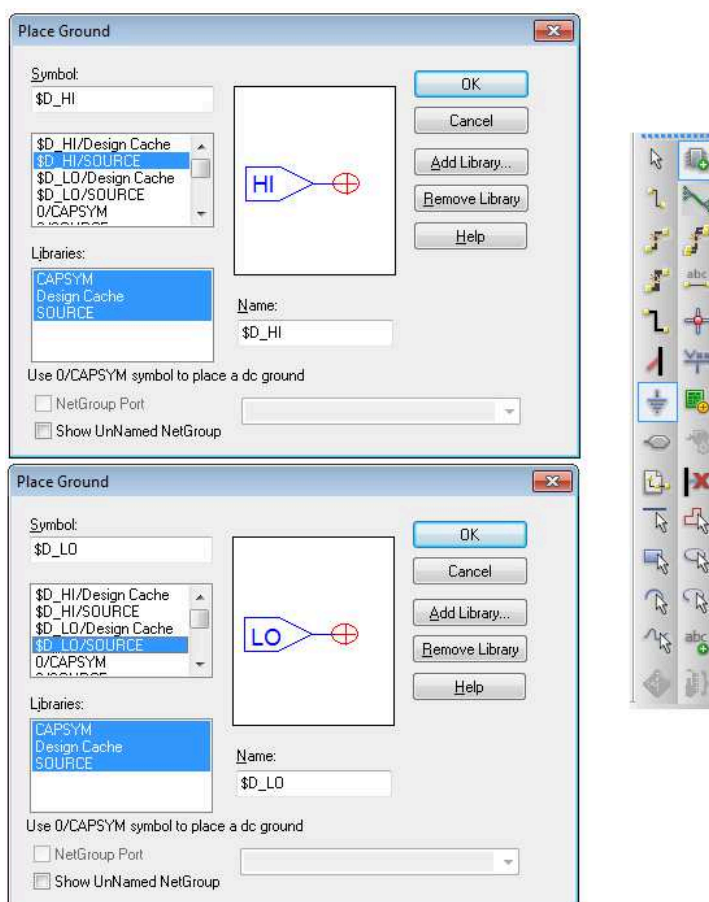


## 6 Zdroje číslicového signálu

Číslicové zdroje slouží k buzení modelovaného obvodu. Pro buzení číslicového obvodu lze využít i analogové zdroje, ovšem se zařazením A/D převodníku mezi zdroj a obvod. Číslicové zdroje navíc poskytují větší možnosti nastavení průběhu signálu a také umožňují definici vícebitového výstupu, což lze s výhodou využít pro připojení zdroje na datovou sběrnici. Zdroje číslicového signálu se nacházejí v knihovnách *source* a *sourcestm*. [6]

### 6.1 Zdroje HI a LO

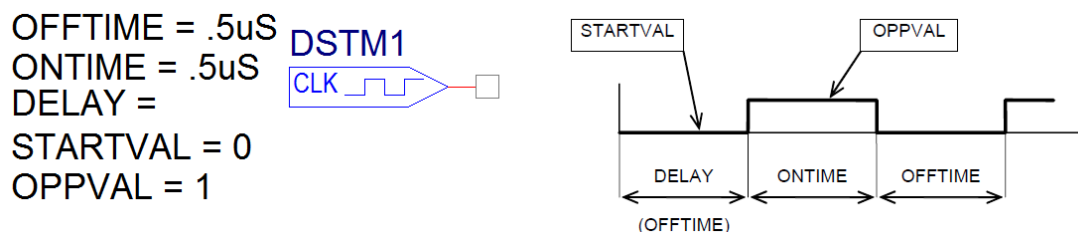
Zdroje typu HI a LO slouží ke generování logických úrovní 1 a 0. Jedná se o jednobitové zdroje, které vložíme do schématu kliknutím LTM na ikonu *Place Ground*.



Obrázek 14: Vložení zdroje LO a HI do schématu

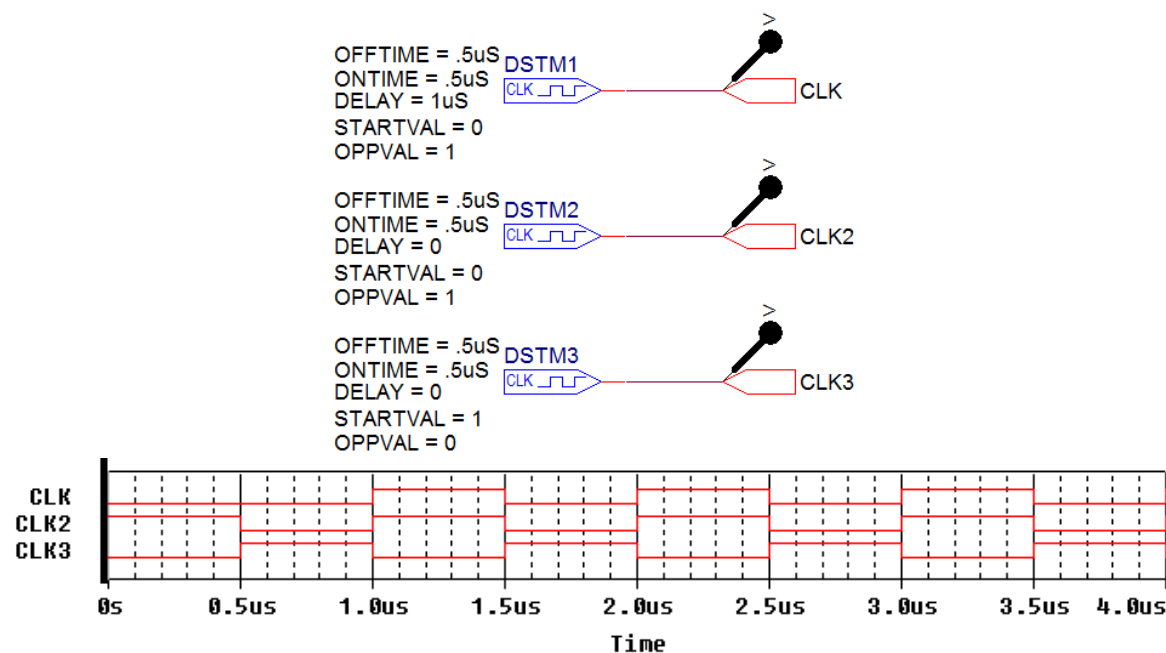
## 6.2 DigClock

Jednabitový generátor hodinového signálu. Pokud není zadán parametr DELAY, na počátku generovaného signálu je využit parametr OFFTIME [6].



Obrázek 15: Zdroj digitálního signálu a jeho parametry [6]

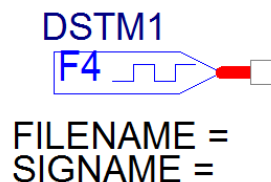
Příklad chování zdroje DigClock pro různá nastavení parametrů je uveden na obr. č. 16.



Obrázek 16: Příklad nastavení parametrů číslicového zdroje DigClock

## 6.3 FileStim

Vícebitový zdroj digitálního signálu, jehož průběh je definován v externím souboru. Soubor definující chování digitálního zdroje *FileStim* obsahuje hodnoty typu čas – hodnota signálu.



Obrázek 17: Zdroj digitálního signálu FileStim a jeho parametry

Do parametru FILENAME přiřazujeme jméno souboru definujícího chování zdroje. Pokud se nachází v adresáři schématu, stačí zadat jméno, jinak je nutno uvést úplnou cestu.

Parametr SIGNAME je nepovinný. Přiřazuje se do něj seznam jmen signálů definovaných v souboru, které budou využity. [6]

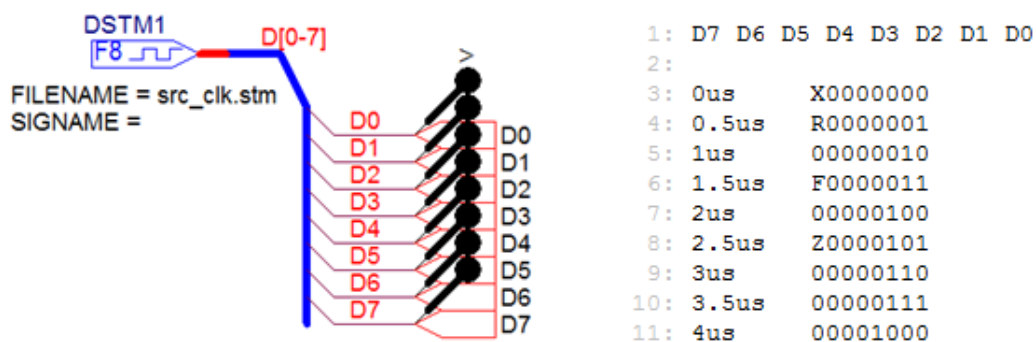
```
[TIMESCALE = <value>]
< signame 1>...< signame n>...
OCT(< signame bit 3> ... <signame bit 0>) ...
HEX(< signame bit 4> ... <signame bit 0>) ...

< time > < value >
< time > < value >
```

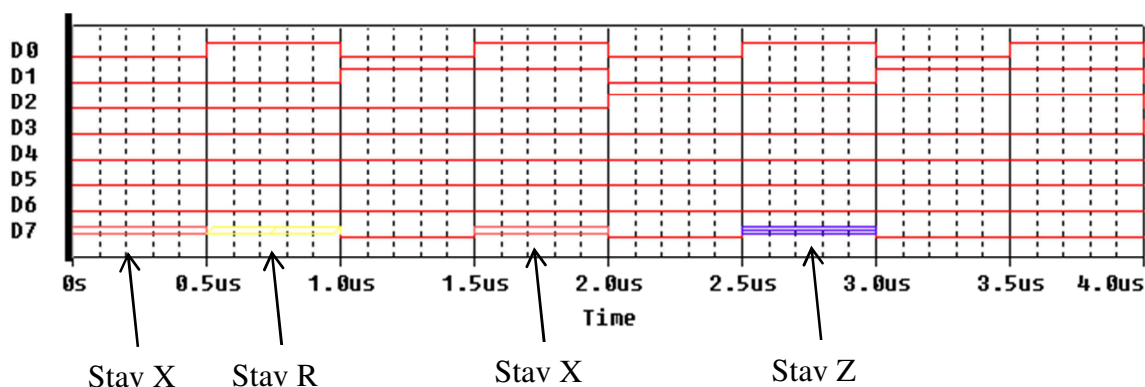
Obrázek 18: Formát souboru definujícího digitální zdroj FileStim [6]

Z obrázku č. 18 je patrné, že lze využít různé varianty konfiguračního souboru. Parametr TIMESCALE je nepovinný. Pokud je uveden, jeho hodnotou budou vynásobeny všechny časové údaje. Nezbytně nutná je mezera mezi hlavičkou vstupního souboru a definicí výstupních hodnot zdroje v závislosti na čase. Výstupům je možné také přiřadit neurčité stavy: X, R, F, Z. [6]

Příklad chování zdroje DigClock pro různá nastavení parametrů je uveden na obr. č. 19 a 20.



Obrázek 19: Schéma zapojení a konfigurační soubor číslicového zdroje FileStim



Obrázek 20: Chování číslicového zdroje FileStim v závislosti na čase

## 6.4 Stim n

Zdroj číslicového signálu *Stim n* je vícebitový zdroj, jehož šířku lze libovolně měnit parametrem WIDTH. Výstupy zdroje v závislosti na čase lze zadávat pomocí parametru COMMAND1 – COMMAND16 podobně jako u předchozího zdroje. Výstupní hodnoty mohou být zadány jak binárně, tak pomocí osmičkové a šestnáctkové číselné soustavy. Formát soustavy je definován parametrem FORMAT, který nabývá hodnot: 1 – binární soustava, 3 – osmičková soustava, 4 – šestnáctková soustava. Jednotlivé soustavy lze mezi sebou kombinovat, ovšem jejich součet musí být roven parametru WIDTH.

Nastavení zdroje obsahuje také nepovinný parametr TIMESTEP, kterým je možno definovat časový údaj délky hodinového cyklu. Jestliže je využit tento parametr, časové údaje lze zadávat s příponou c. Časový údaj definovaný pomocí přípony c je interpretován

jako násobek hodinového taktu. Časový údaj je možno zadávat také jako relativní, který se vztahuje k poslední události. Časové údaje definované tímto způsobem obsahují předponu +.[6]



	A
	<b>+ SCHEMATIC1 : PAGE1</b>
PSpiceOnly	TRUE
Reference	DSTM1
Value	STIM4
V1	
alfa	
COMMAND1	0s 0000
COMMAND2	
COMMAND3	
COMMAND4	
COMMAND5	
COMMAND6	
COMMAND7	
COMMAND8	
COMMAND9	
COMMAND10	
COMMAND11	
COMMAND12	
COMMAND13	
COMMAND14	
COMMAND15	
COMMAND16	
DIG_GND	\$G_DGND
DIG_PWR	\$G_DPWR
FORMAT	1111
IO_LEVEL	0
IO_MODEL	IO_STM
Location X-Coordinate	580
Location Y-Coordinate	300
Source Part	STIM4.Normal
TIMESTEP	
WIDTH	4

Obrázek 21: Digitální zdroj Stim n a jeho parametry

Pro získání požadovaného průběhu výstupního signálu umožňuje číslicový zdroj Stim n využít také příkazy, jejichž výčet je uveden v tabulce č 5.

Tabulka 5: Příkazy pro definici výstupního průběhu signálu číslicového zdroje Stim n

Příkazy skoku	
LABEL	Pojmenování návěstí pro skok
GOTO	Příkaz skoku na návěstí
TIMES	Příkaz pro definici počtu opakování
Porovnání signálu sběrnice s nastavenou hodnotou	
UNTIL GT	>
UNTIL GE	≥
UNTIL LT	<
UNTIL LE	≤
Inkrementace / dekrementace hodnoty sběrnice	
INCR BY	Inkrementace hodnoty sběrnice o zadanou hodnotu
DECR BY	Dekrementace hodnoty sběrnice o zadanou hodnotu
Příkazy cyklu s určeným počtem opakování	
REPEAT FOREVER	Neustále opakování
REPEAT n TIMES	Opakování n krát
ENDREPEAT	Konec opakování

Formát zápisů příkazů je uveden na obrázku č. 22.

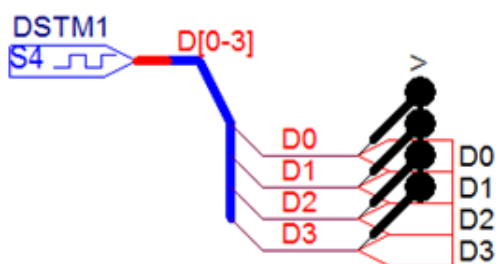
```

< time > < value >
LABEL=< label name >
< time > GOTO < label name > < n > TIMES
< time > GOTO < label name > UNTIL GT < value >
< time > GOTO < label name > UNTIL GE < value >
< time > GOTO < label name > UNTIL LT < value >
< time > GOTO < label name > UNTIL LE < value >
< time > INCR BY < value >
< time > DECR BY < value >
REPEAT FOREVER
REPEAT < n > TIMES
ENDREPEAT

```

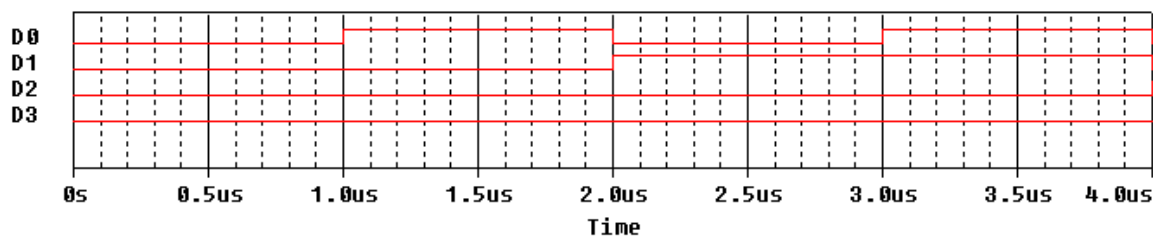
Obrázek 22: Formát příkazů pro definici výstupního signálu číslicového zdroje Stim n [6]

Příklad nastavení číslicového zdroje *Stim n* je zobrazen na obrázku č. 22. Byl využit číslicový zdroj o šířce 4 bity, který byl připojen ke sběrnici. Dále byl využit kombinovaný způsob zadání výstupních hodnot a to osmičkovou a binární číselnou soustavou. Rovněž byl využit parametr TIMESTEP a časové hodnoty byly zadány pomocí přípony *c*.



	A
	SCHEMATIC1: PAGE1
PSpiceOnly	TRUE
Reference	DSTM1
Value	STIM4
V1	
alfa	
COMMAND1	0c 00
COMMAND2	1c 40
COMMAND3	2c 20
COMMAND4	3c 60
COMMAND5	4c 10
DIG_GND	\$G_DGND
DIG_PWR	\$G_DPWR
FORMAT	31
IO_LEVEL	0
IO_MODEL	IO_STM
Location X-Coordinate	350
Location Y-Coordinate	210
Source Part	STIM4.Normal
TIMESTEP	1us
WIDTH	4

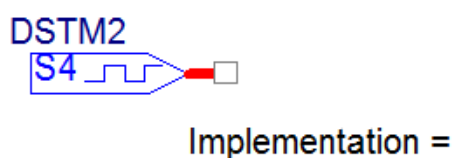
Obrázek 23: Příklad nastavení číslicového zdroje Stim n o šířce 4 bity



Obrázek 24: Chování číslicového zdroje Stim n o šířce 4 bity v závislosti na čase

## 6.5 DigStim

Vícebitový zdroj, nacházející se v knihovně *sourcstm*, jehož časový průběh je zadáván v grafickém uživatelském rozhraní s názvem *Stimulus Editor*. Po kliknutí PTM na ikonu zdroje vybereme *Edit PSpice Stimulus*.

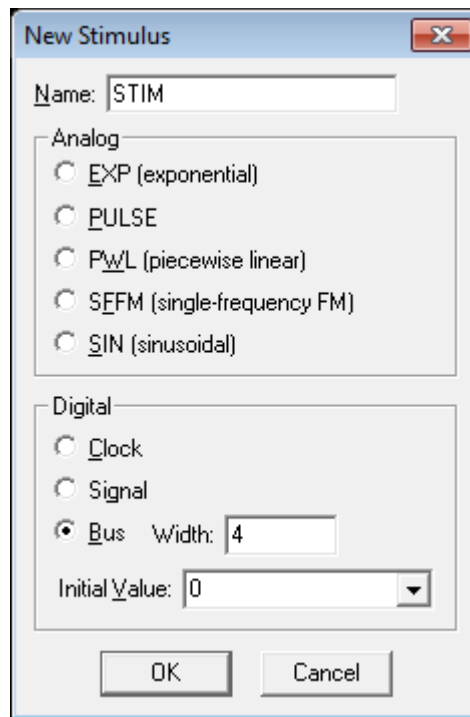


Obrázek 25: Digitální zdroj DigStim a jeho parametry

Jména definovaných signálů musí být shodné se jmény vodičů sběrnice. [6]

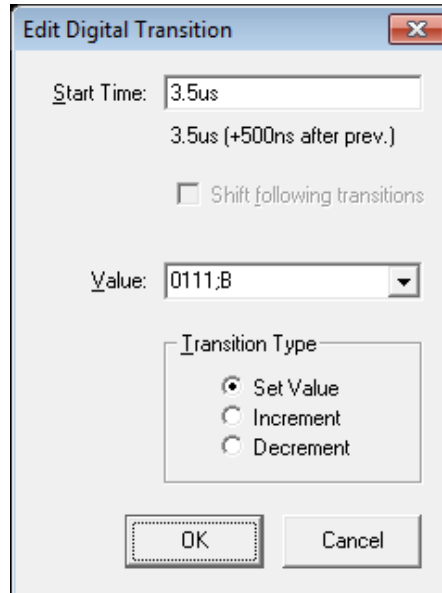
Po spuštění grafického uživatelského rozhraní pro editaci výstupů zdroje, je zadán typ požadovaného výstupního signálu a v případě zdroje, jenž bude připojen ke sběrnici, také jeho bitová šířka.



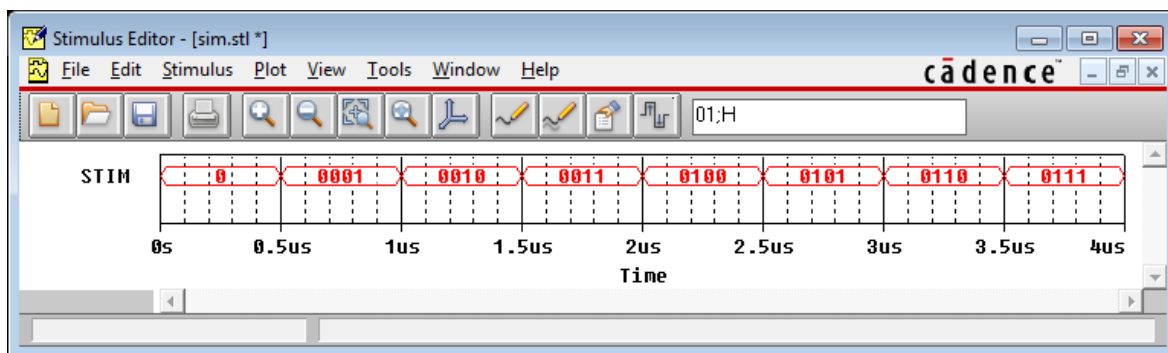


Obrázek 26: Definice vlastností výstupních signálů číslicového zdroje DigStim

Pomocí nástrojů pro editaci výstupního signálu je možno provést jeho úpravu a nastavit tak požadované vlastnosti zdroje.

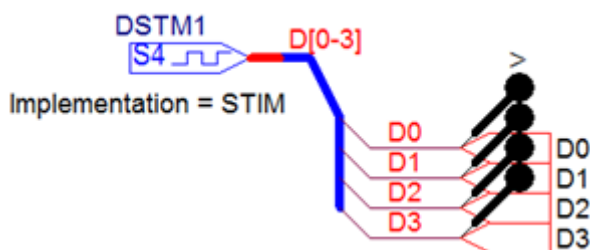


Obrázek 27: Editace atributů výstupního signálu číslicového zdroje DigStim

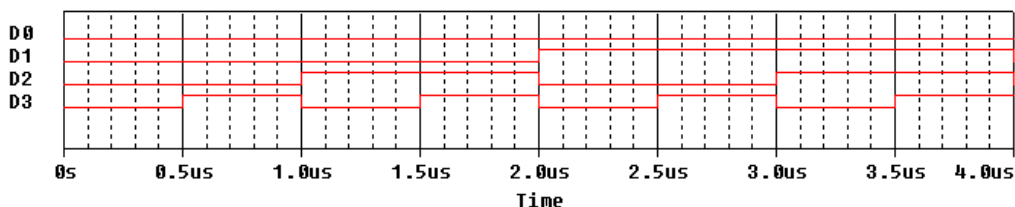


Obrázek 28: Výstupní signál číslicového zdroje DigStim - Stimulus Editor

Po uzavření aplikace *Stimulus Editor* program OrCAD automaticky přiřadí atributu *Implementation* číslicového zdroje DigStim název souboru vytvořeného v editačním prostředí *Stimulus Editor*.



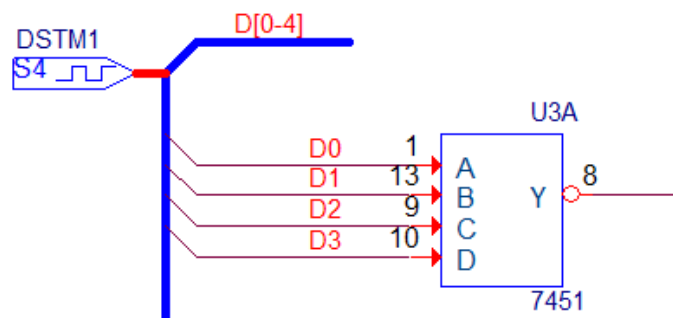
Obrázek 29: Příklad nastavení číslicového zdroje DigStim



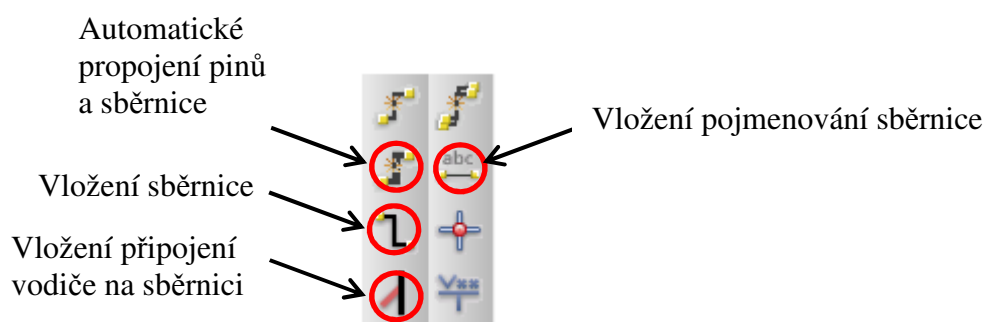
Obrázek 30: Chování číslicového zdroje DigStim o šířce 4 bity v závislosti na čase

## 6.6 Připojení vícebitových zdrojů na sběrnici

Vícebitové zdroje mohou být připojeny na sběrnici. Výrazně se tak zjednoduší a zpřehledňuje celkové simulační schéma. V definici výstupu zdrojů v čase je využíván formát zápisu MSB – LSB. Pořadí MSB a LSB musí být zachováno také při definici jména sběrnice, které slouží jako šablona pro jména připojených vodičů.



Obrázek 31: Příklad připojení zdroje ke sběrnici

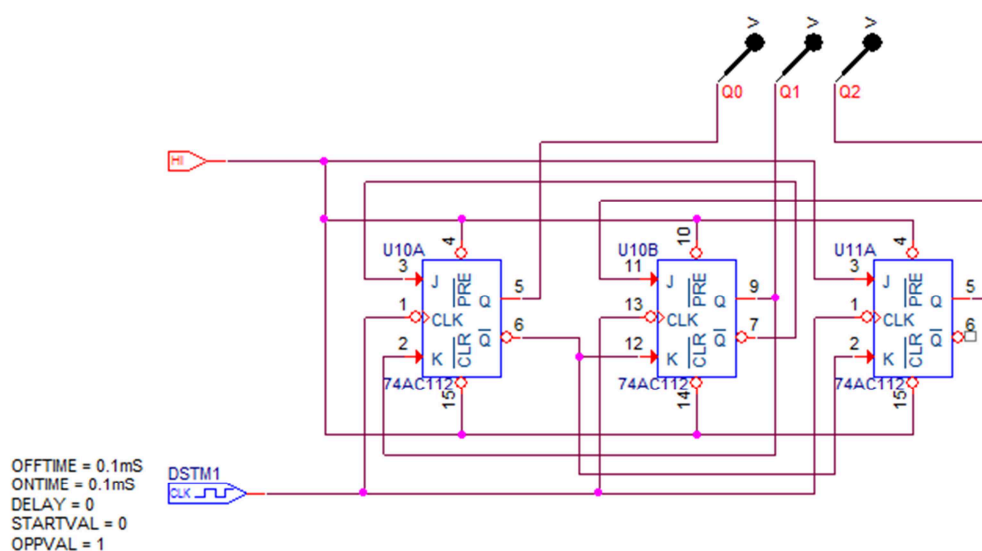


Obrázek 32: Ikony pro práci se sběrnici

Na obrázku č. 19 jsou vyobrazeny ikony pro práci se sběrnici – vložení sběrnice, automatické připojení pinů ke sběrnici a vložení pojmenování sběrnice. [6]

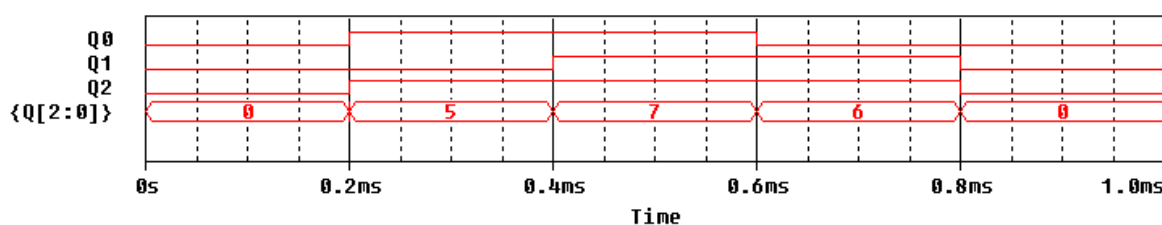
## 6.7 Praktické využití číslicových zdrojů

Praktické využití jednobitového číslicového zdroje je uveden na obrázku č. 33.



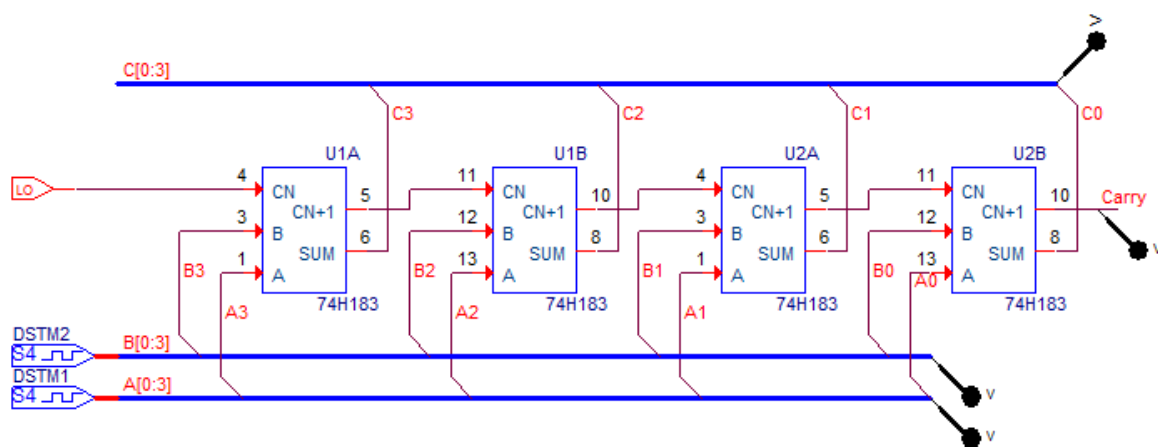
Obrázek 33: Schéma zapojení generátoru sekvence 0 – 5 – 7 – 6

Obvod na obrázku č. 33 na svém výstupu generuje sekvenci binárních čísel 0 – 5 – 7 – 6. Jednobitový číslicový zdroj DSTM1 byl využit jako zdroj dvouhodnotového signálu, který svou změnou z hodnoty log. 1 na log. 0 způsobí změnu stavu klopných obvodů JK. K nastavení počátečního stavu klopných obvodů byl využit jednobitový zdroj signálu log. 1. Výsledky číslicové simulace provedené v prostředí simulačního programu OrCAD jsou uvedeny na obrázku č. 34.



Obrázek 34: Výsledek číslicové simulace generátoru binárních čísel 0 – 5 – 7 – 6

Příklad využití vícebitových zdrojů je uveden na obrázku č. 35.



Obrázek 35: Schéma zapojení 4-bitové úplné binární sčítačky

Ze schématu zapojení čtyřbitové sčítačky, složené z kaskádního zapojení jednobitových úplných sčítaček je patrné, že využití vícebitových číslicových zdrojů společně se sběrnicemi přispívá k zprehlednění výsledného schématu.

Nastavení čtyřbitových číslicových zdrojů DSTM1 a DSTM2 bylo provedeno dle obrázku č. 36.

DSTM1

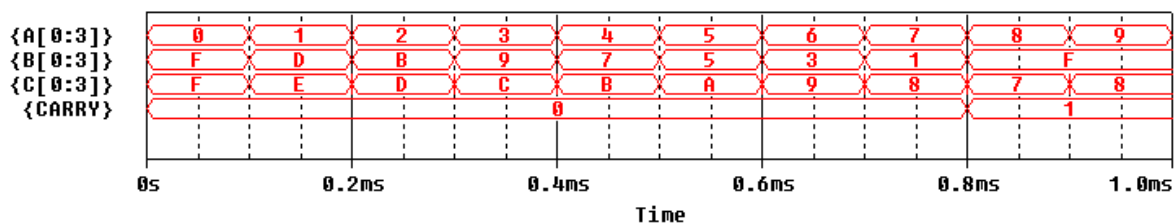
COMMAND1	0s 0000
COMMAND2	REPEAT 10 TIMES
COMMAND3	+0.1ms INCR BY 0001
COMMAND4	ENDREPEAT

DSTM2

COMMAND1	0s 1111
COMMAND2	REPEAT 8 TIMES
COMMAND3	+0.1ms DECR BY 0010
COMMAND4	ENDREPEAT

Obrázek 36: Nastavení 4-bitových číslicových zdrojů DSTM1 DSTM2

Výsledky číslicové simulace provedené v prostředí simulačního programu OrCAD jsou uvedeny na obrázku č. 37.



Obrázek 37: Výsledek číslicové simulace binární 4-bitové úplné sčítačky

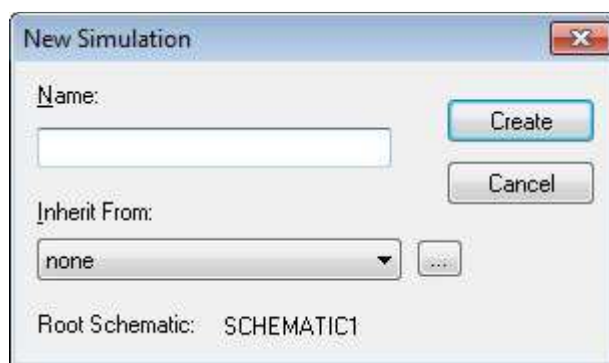
## 7 Nastavení simulačního profilu pro číslicovou simulaci

Nastavení analýz prováděných programem OrCAD je uloženo v simulačním profilu. Každé schéma v projektu může mít asociován libovolný počet simulačních profilů, ale jen jeden může být aktivní. Nový simulační profil založíme příkazem PSpice/New Simulation Profile nebo kliknutím na ikonu nového simulačního profilu.



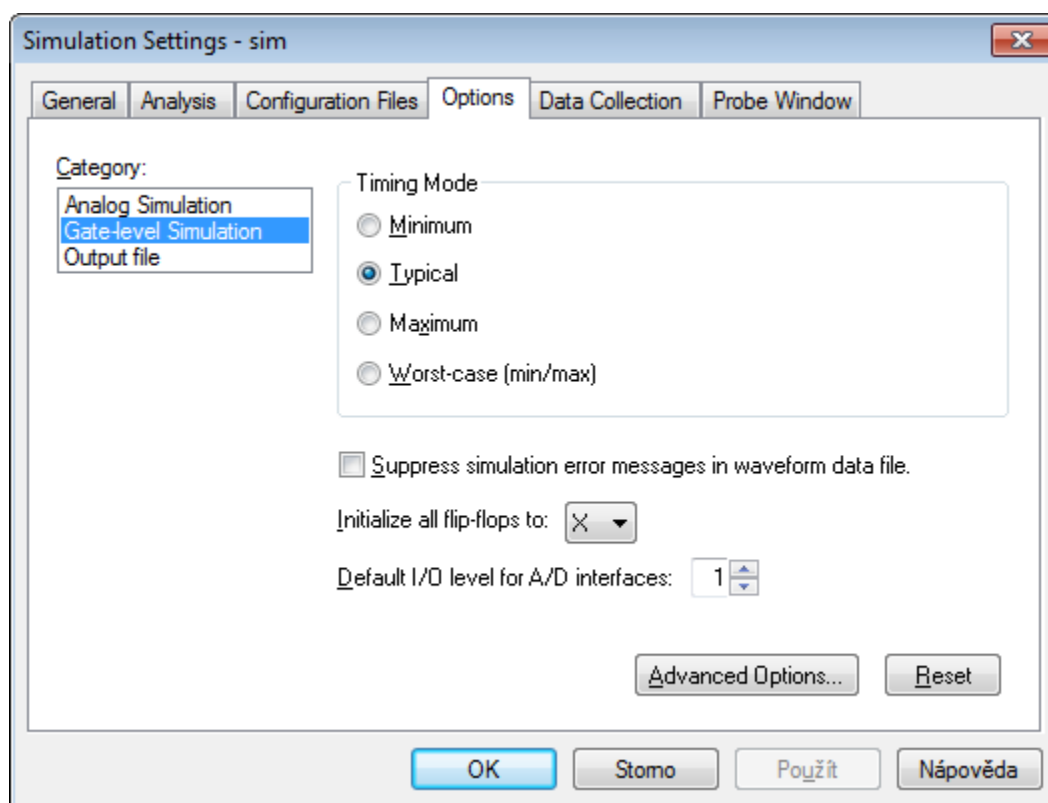
Obrázek 38: Ikona nového simulačního profilu

Simulační profil musí být pojmenován. Po zadání jména simulačního profilu (Name), klikneme na tlačítko vytvoření simulačního profilu (Create).



Obrázek 39: Okno zadání jména simulačního profilu

Po vytvoření simulačního profilu, upřesníme nastavení simulace. V digitální simulaci se uplatní pouze simulace v časové oblasti. Pouze u smíšených obvodů je ještě možná analýza DC. Nejdůležitější je nastavení chování A/D a D/A převodníků, pokud simulovaný obvod obsahuje také analogové součástky (*Default I/O level for A/D interfaces*) – viz kapitola 4, nastavení časových parametrů logických členů (*Timing Mode*) – viz kapitola 6.1 a počáteční stavy klopných obvodů (*Initialize all flip-flops*). Tato nastavení nalezneme na kartě *Options* výběrem *Category: Gate-level Simulation*.



Obrázek 40: Nastavení parametrů číslicové simulace

Časové parametry jednotlivých číslicových prvků lze samostatně nastavit parametrem MNTYMXDLY. [6]

## 8 Chybové stavy během simulace

Během simulace mohou v důsledku časových parametrů logických členů nastat různé stavy neurčitosti (hazardy). Pokud takováto situace nastane, simulátor podá hlášení, přičemž existují dva druhy problémů: porušení časování a časovací hazard.

Při porušení časování mohou nastat omezení typu WIDTH – minimální šířka impulsu, SETUP – minimální doba ustálení signálu před příchodem hodinového pulzu, HOLD – minimální doba zachování stavu od příchodu hodinového impulsu.

Časovací hazard nastává ve chvíli, kdy dojde k souběhu časově neurčitých signálů R a F na vstupu logického obvodu. Nelze tedy určit, zda dojde ke změně signálu na jeho výstupu. Tato situace se označuje AMBIGUITY CONVERGENCE. Pokud se tato neurčitost objeví na konektoru nebo změní stav sekvenčního obvodu je situace označena jako PERSISTANT HAZARD.

Jestliže některá z výše uvedených situací nastane, bude hlášení o chybě uloženo v datovém souboru v Probe. [6]



## **9 Simulace číslicového zpracování signálů ze snímačů**

Snímače slouží ke snímání sledované veličiny, kterou transformuje obvykle na elektrický signál. [9] Elektrické signály jsou zpracovávány nejčastěji elektronickou řídicí jednotkou. Své nezastupitelné místo mají snímače v moderním automobilovém průmyslu. Uplatňují se především v moderních systémech, které napomáhají k optimálnímu využití výkonu vozidla, aktivně se podílí na zajištění bezpečí a komfortu při jízdě. Snímanými veličinami jsou například rychlost, tlak, zrychlení, teplota, poloha...

Řídicí jednotka zpracovává elektrické signály ze snímačů. Je vybavena mikrokontrolérem, který na základě dat získaných ze snímačů provádí výpočty dle sofistikovaných výpočetních algoritmů a ovládá akční prvky. Pro zpracování vstupních signálů ze snímačů řídicí jednotkou je nezbytné převést tyto signály do digitální podoby. K tomu slouží zařízení, jenž je označováno jako A/D převodník.

### **9.1 Odporový snímač polohy**

Základním typem snímače využívaný v automobilovém průmyslu je odporový snímač polohy. Pracuje na principu proměnného odporu v zapojení jako měřicí potenciometr nebo reostat. Konstrukčně je tento typ snímače velmi jednoduchý. Využívá se například ke snímání polohy hladiny paliva v nádrži. Jezdec potenciometru je mechanicky propojen s hladinou paliva v nádrži pomocí plováku. Změna hladiny paliva v nádrži způsobuje posun jezce potenciometru a tím mění výstupní napětí snímače.



Obrázek 41: Snímač hladiny paliva - Škoda Fabia [10]

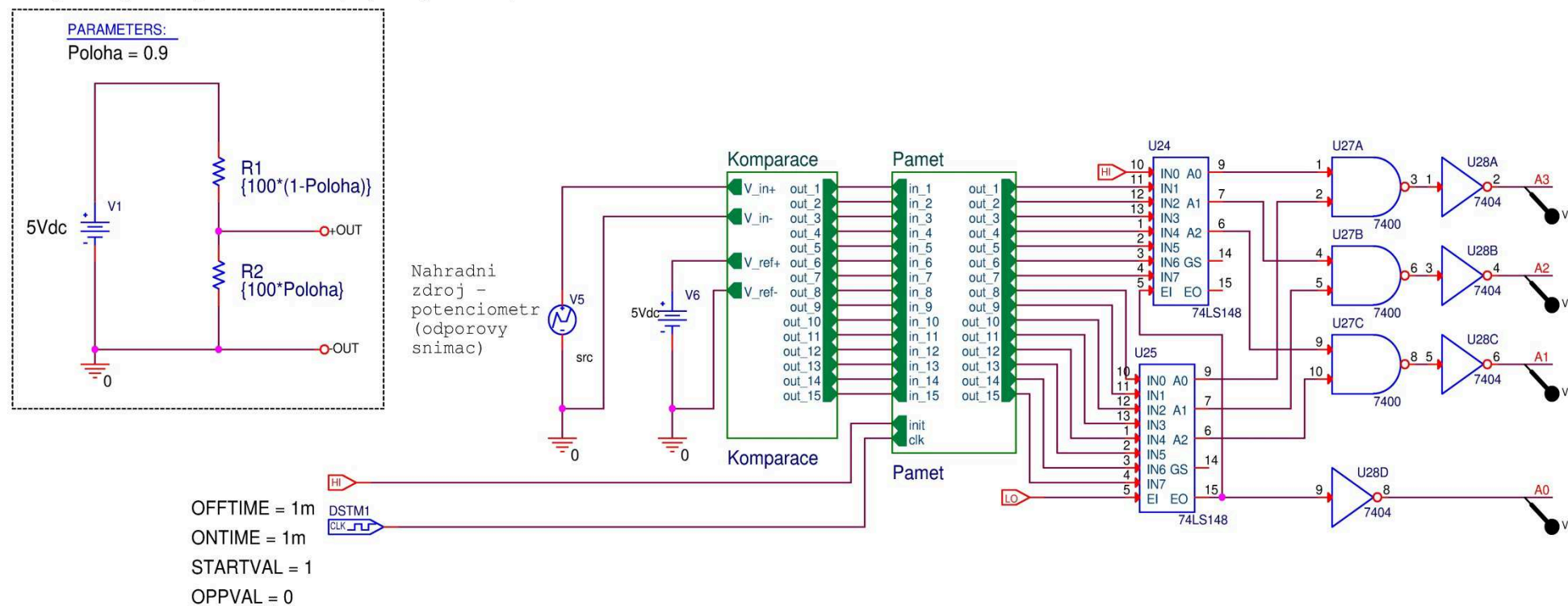
Simulační schéma, vytvořené v simulačním programu OrCAD, odporového snímače je uvedena na obrázku č. 42. Výstupní signál odporového snímače byl zpracován paralelním, čtyřbitovým A/D převodníkem. Ten je tvořen patnácti operačními zesilovači zapojenými jako komparátory. Vstupní hodnota napětí z odporového snímače je porovnávána s hodnotou referenčního napětí. Hodnota referenčního napětí je odstupňována pomocí napěťového děliče a tvoří tak jednotlivé rozhodovací úrovně pro operační zesilovače. Výstupní stavy operačních zesilovačů jsou zaznamenávány v paměťových buňkách, které tvoří D klopné obvody. Výstupní napěťové, logické úrovně D klopných obvodů jsou převedeny dekodérem na výstupní, digitální, čtyřbitovou podobu signálu. Pro zjednodušení simulačního schématu bylo využito hierarchického návrhu, kdy operační zesilovače a D klopné obvody byly zapouzdřeny ve vlastních blocích s názvem *Komparace* a *Paměť*. Obvodová schémata těchto bloků jsou uvedena v příloze.

Pro názorné zobrazení výsledků simulace bylo nejprve simulací zjištěno chování vstupního proměnného odporu, reprezentujícího odporový snímač. Proměnný odpor snímače byl v simulačním programu realizován jako rezistor, jehož hodnota závisí na

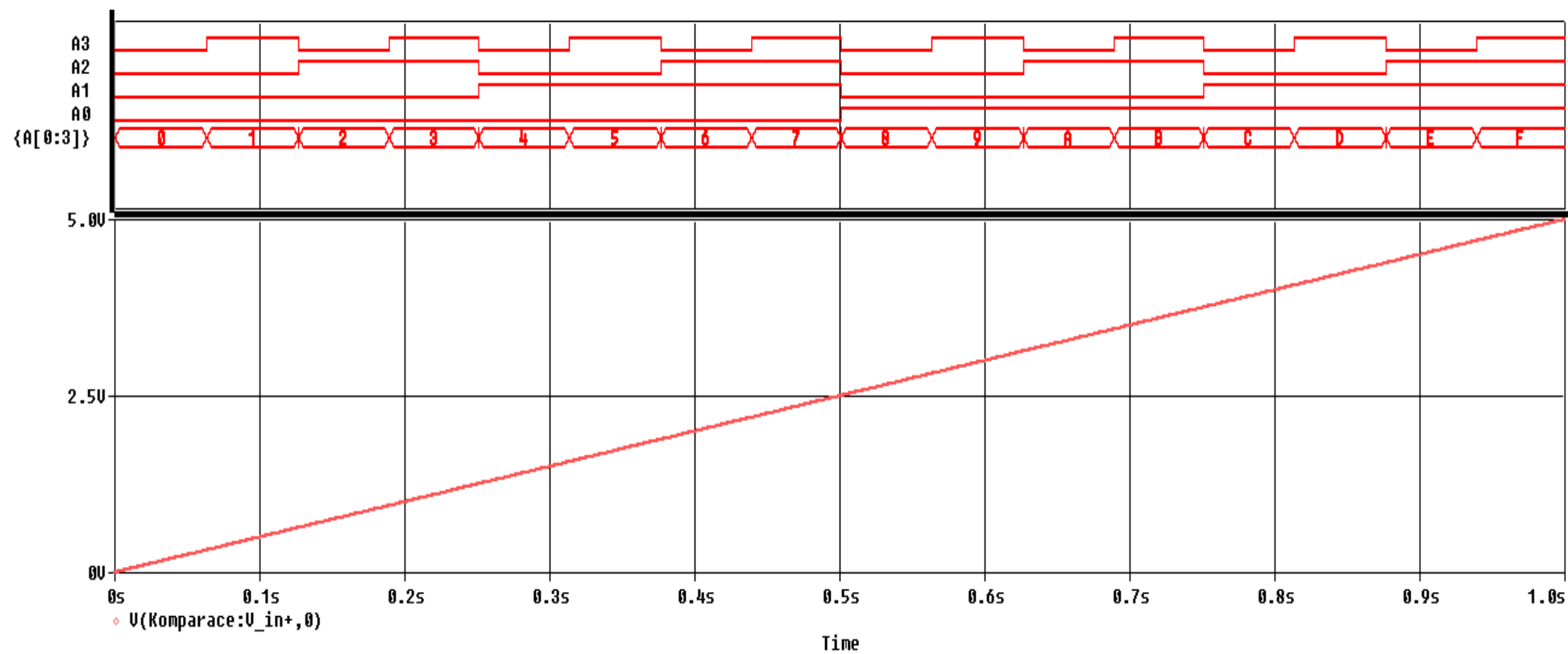
parametru *Poloha*. Výsledky simulace byly využity jako vstupní hodnoty náhradního zdroje V5, přičemž parametr *Poloha*, je v náhradním napěťovém zdroji reprezentován jako časový údaj. Na základě využití tohoto náhradního zdroje je možné zobrazit výstupní signály A/D převodníku v závislosti na čase a na výstupním napětí odporového snímače.

Výsledek simulace simulačním programem OrCAD je uveden na obrázku č. 43. Na horní, digitální části osciloskopu jsou uvedeny jednotlivé bity výsledného binárního kódu. Pod nimi je vyobrazena hodnota signálu reprezentována v hexadecimální číselné soustavě. Analogová část reprezentuje výstupní napětí odporového snímače polohy v závislosti na čase, tedy na měnící se poloze snímané veličiny.

Vstupní signál – potenciometr (odporový snímac)



Obrázek 42: Simulační schéma odporového snímače hladiny paliva



Obrázek 43: Výstupní signál odporového snímače (dole) a A/D převodníku

## 9.2 Odporový snímač teploty

Dalším typem snímačů, využívaných v automobilovém průmyslu, jsou termistory. Jedná se rovněž o odporový snímač, jehož hodnota elektrického odporu je závislá na teplotě. Využívá se především pro snímání teploty, nebo množství nasávaného vzduchu motorem automobilu. Termistor je zahříván zdrojem konstantního proudu na příslušnou referenční teplotu. Vlivem proudění vzduchu je termistor ochlazován. Změna napětí na termistoru je měřítkem rychlosti proudění vzduchu.



Obrázek 44: Teplotní snímač nasávaného vzduchu [11]

Simulační schéma obvodu zpracovávajícího signál z termistorového snímače je uvedeno na obrázku č. 45. Pro modelování termistoru byl využit odporník, jehož hodnota je exponenciálně závislá na teplotě. Tuto závislost vyjadřuje vztah:

$$R_1 = R_r \cdot e^{B \cdot \left( \frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_r} \right)} \quad (1)$$

kde:  $R_1$  odpor termistoru při teplotě  $T_1$  [ $\Omega$ ],

$R_r$  odpor termistoru při referenční teplotě  $T_r$  [ $\Omega$ ],

$B$  teplotní konstanta závislá na materiálu termistoru [K]

$T_1$  teplota okolí [K]. [9]

Hodnota materiálové konstanty byla vyhodnocena dle vztahu:

$$B = \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} \cdot \ln \frac{R_1}{R_2} \quad (2)$$

[9]

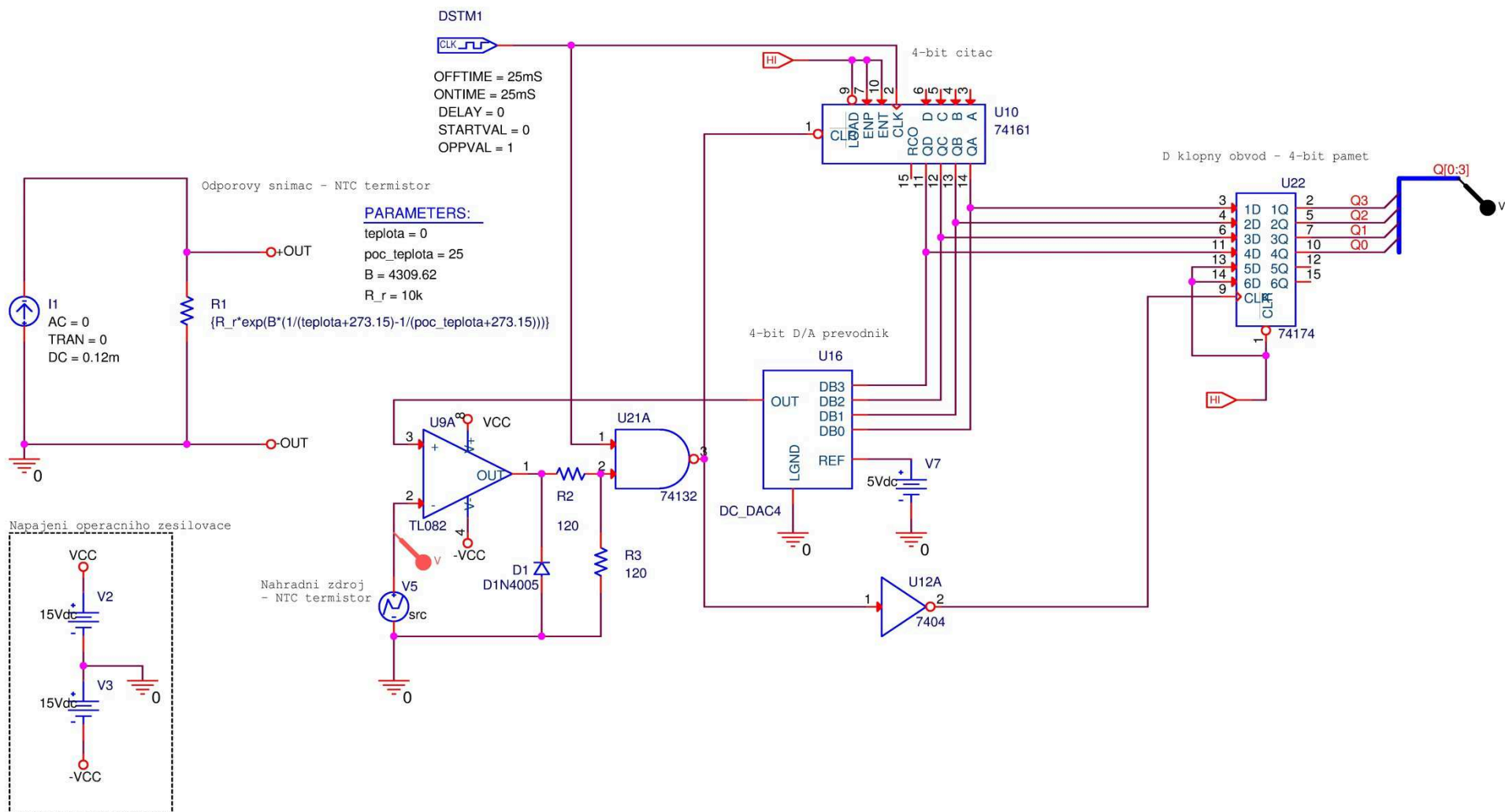
Pro simulaci NTC termistoru byly využity katalogové údaje termistoru K164NK010. Pro výpočet konstanty B se doporučuje využít hodnoty dostatečně vzdáleny od sebe.

Po dosazení do vztahu (2):

$$B = \frac{283,15 \cdot 408,15}{408,15 - 283,15} \cdot \ln \frac{20860}{197,20} = 4309,62 \text{ K}$$

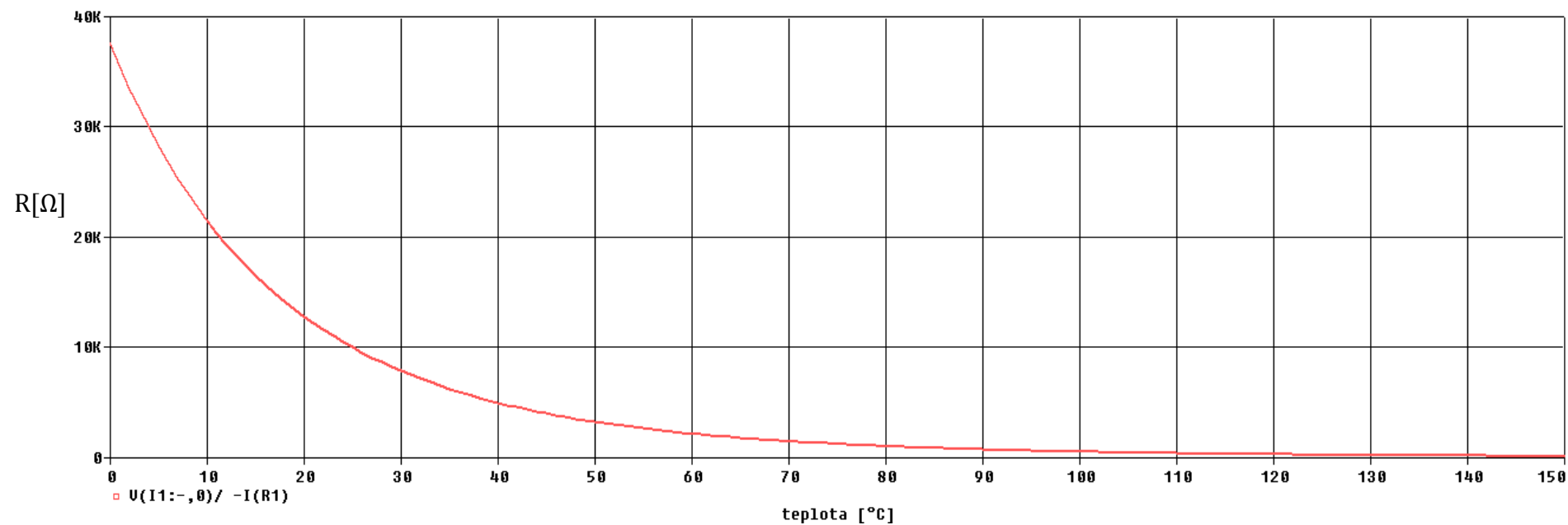
Simulací v programu OrCAD byla rovněž zjištěna charakteristika NTC termistoru (viz obrázek 46).

Napěťový signál z termistorového čidla byl zpracován kompenzačním, čítacím, 4-bitovým A/D převodníkem. Je tvořen jedním operačním zesilovačem, který je zapojen jako komparátor, 4-bitovým čítačem, 4-bitovým D/A převodníkem a čtyř D klopných obvodů. Začátek převodu je dán spuštěním čítače hodinovým signálem. Ten je generován digitálním zdrojem DSTM1. Hodnota čítače je D/A převodníkem převedena na analogový signál, který je porovnán se vstupním signálem odporového snímače. Pokud úroveň napětí, které generuje čítač, překročí hodnotu napětí ze snímače, komparátor změní svůj stav na hodnotu log. 0 a čítač je resetován. Signálem z komparátoru je rovněž taktována paměť tvořená D klopnými obvody. Překlopením komparátoru do stavu log. 0 se zároveň generují na výstupu platná data. Výstupní hodnoty získané simulací simulačním programem OrCAD jsou uvedeny na obrázku č. 46. Pro přehledné vyobrazení výsledků byl opět využit náhradní zdroj signálu V5, přičemž změna teploty okolí je reprezentována jako časový údaj.

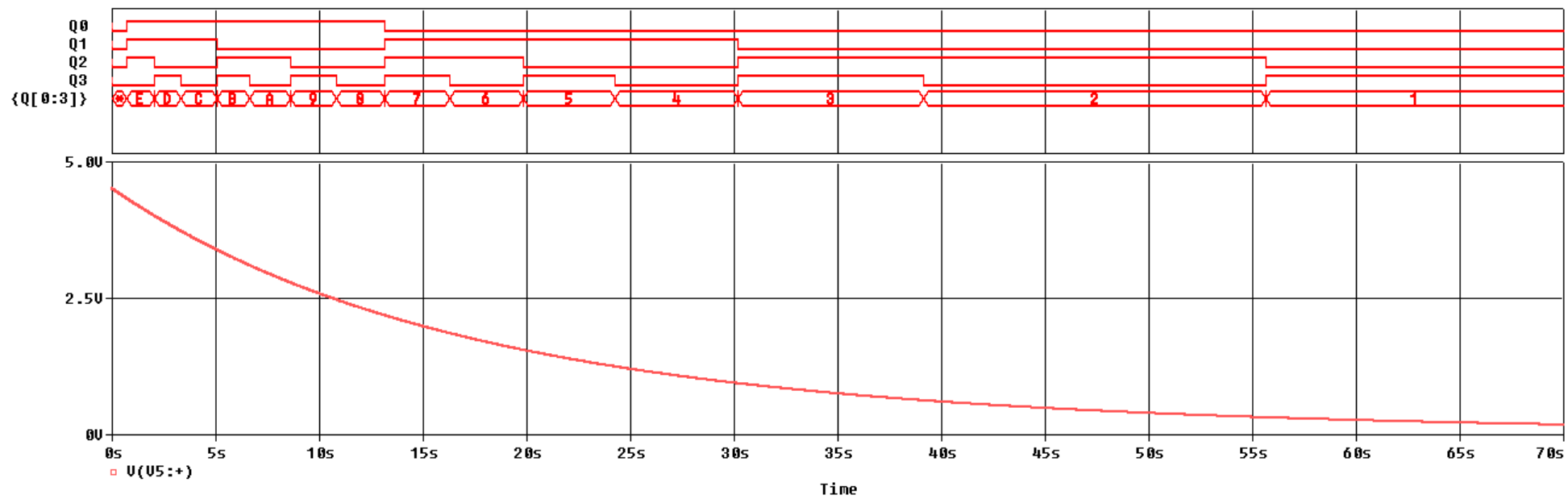


Obrázek 45: Simulační schéma odporového snímače nasávaného vzduchu





Obrázek 46: Charakteristika NTC termistoru K164NK010



Obrázek 47: Výstupní signál odporového snímače nasávaného vzduchu (dole) a A/D převodníku (nahore)

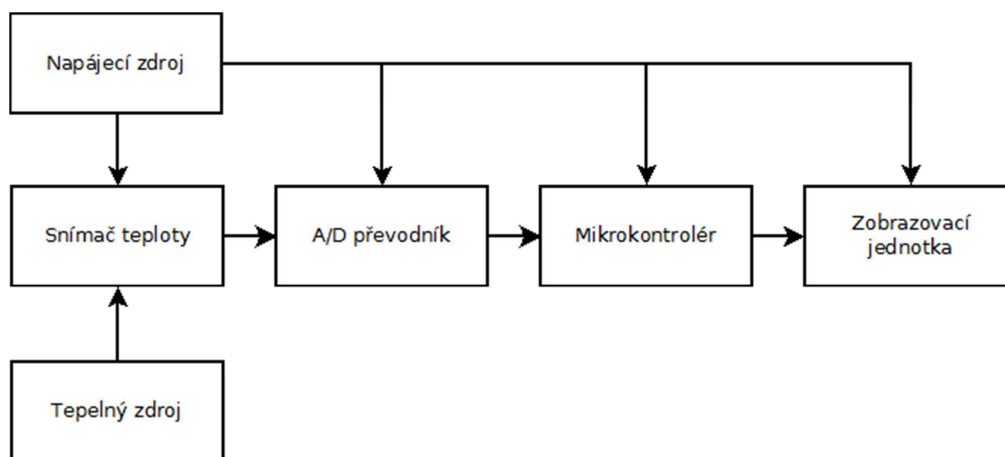
## 10 Možnosti uplatnění simulací

Pro snadnější pochopení technologií využívajících snímačů v automobilové technice budou realizovány dva výukové demonstrační přípravky, které budou využity v laboratořích určených k výuce předmětu automobilová elektrotechnika. Jeden bude osazen odporovým snímačem polohy a druhý termistorovým snímačem teploty. Poznatky, získané simulací obvodů, které zpracovávají výstupní signál snímačů, budou základem při jejich návrhu a realizaci. Samotná realizace přípravků pak bude náplní jiné bakalářské práce.

Laboratorní přípravky budou tvořeny pěti resp. šesti základními bloky – zdrojem napájecího napětí, snímačem polohy nebo teploty, A/D převodníkem, mikrokontrolérem a zobrazovací jednotkou (displejem). V případě snímače teploty obsahuje přípravek ještě zdroj tepla pro simulaci změny okolní teploty. Přípravky budou mít na svém panelu vývody pro měření převodní charakteristiky snímačů. Signál ze snímačů je zpracováván navrženými A/D převodníky na digitální podobu. Tato operace probíhá v automobilech interně v řídicí jednotce. Signál, již v digitální podobě, je zpracováván mikrokontrolérem, který ve své paměti obsahuje převodní charakteristiku snímače. Mikrokontrolér pak simuluje činnost řídicí jednotky automobilu, kdy na základě informace obdržené ze snímače přiřadí danému binárnímu kódu hodnotu polohy nebo teploty. Výsledek je zobrazen na displeji přípravku. Každý přípravek bude osazen jiným typem A/D převodníku, což umožňuje objasnit principy převodu analogového signálu na číslicovou reprezentaci. Zároveň lze porovnat vlastnosti těchto převodníků a odvodit jejich kladné a záporné vlastnosti.

Takovéto demonstrační přípravky lze využít také pro výuku předmětu simulace elektronických systémů. Výsledky naměřených hodnot z reálných termistorových snímačů lze porovnat se simulací provedenou na počítači. V případě správného postupu měření a

simulace by měly být výsledky téměř shodné. Přímé porovnání výsledků simulace s fyzickou realizací zapojení zvýší zkušenosti studentů s nastavením simulačního profilu v prostředí OrCAD tak, aby výsledky simulace odpovídaly co nejvíce skutečnosti.



Obrázek 48: Blokový diagram demonstračního přípravku – měření snímače teploty a zpracování signálu

## 11 Závěr

V úvodní části této práce byly uvedeny základní pojmy spjaté se simulací systémů. Dále se již práce zabývá výhradně simulačním prostředím OrCAD. Byly shrnuty specifiky simulace číslicových a smíšených obvodů formou srovnání se simulací analogových elektrických obvodů. Bylo zdůrazněno nastavení simulačního profilu z hlediska číslicové simulace. Zejména byl kladen důraz na nastavení a využití zdrojů číslicových signálů. Pro jednotlivé typy zdrojů bylo naznačeno jejich nastavení a také graficky zobrazeny jejich výstupní signály pro různá nastavení těchto zdrojů. V kapitole 6.7 byly uvedeny praktické příklady využití jednotlivých typů zdrojů při simulaci konkrétního číslicového obvodu.

Druhá část této práce se zabývá simulací digitálního zpracování signálů snímačů využívaných v automobilové technice. Jednotlivá simulační schémata byla navržena tak, aby bylo možno snadno změnit parametry simulovaného snímače. Výsledky simulací jsou pak uvedeny v názorném grafickém formátu. Využití simulací bylo shrnuto v kapitole 10.

## 12 Seznam použité literatury

- [1] NOSKIEVIČ, Petr. *Modelování a identifikace systémů*. 1. vydání. Ostrava: MONTANEX a.s., 1999. ISBN 80-7225-030-2.
- [2] KESL, Jan. *Elektronika III - číslicová technika*. 1. vydání. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 80-7300-076-8.
- [3] BIOLEK, Dalibor. Analýza elektronických obvodů (nejen) na počítači. [online]. s. 1-13 [cit. 2013-10-12]. Dostupné z: <http://user.unob.cz/biolek/veda/articles/ROZNOV01.pdf>
- [4] BRACHTL, Ivo, Jiří DOUŠA a Josef KRČMÁŘ. *Číslicová simulace I.: Skriptum*. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1976.
- [5] KŘIVÝ, Ivan a Evžen KINDLER. *Simulace a modelování* [online]. Ostrava [cit. 2013-10-12].
- [6] KOLKA, Zdeněk. *Analýza elektronických obvodů programem OrCAD PSpice: Skriptum* [online]. 1. vydání. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2000 [cit. 2013-10-20]. Dostupné z: <http://user.unob.cz/biolek/vyukaVUT/skripta/PSPICE.pdf>
- [7] ZÁHLAVA, Vít. *OrCAD 10*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing, 2004. ISBN 80-247-0904-X.
- [8] ECircuitCenter. *ECircuitCenter* [online]. 2002 [cit. 2013-10-26]. Dostupné z: <http://www.ecircuitcenter.com/AboutSPICE.htm>
- [9] RIPKA, Pavel, Stanislav ĎAĎO, Marcel KREIDL a Jiří NOVÁK. *Senzory a převodníky*. první. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-01-03123-3.
- [10] Škoda díly. BENEŠ&MICHL. *Škoda díly* [online]. 2014 [cit. 2014-02-09]. Dostupné z: <http://www.skoda-dily.cz/eshop/6q0919673-snimac-hladiny-paliva.html>

[11] Auto Matějček: specializovaný prodej autodílů. *Auto Matějček: specializovaný prodej autodílů* [online]. 2014 [cit. 2014-02-16]. Dostupné z:  
[http://www.automatejcek.cz/nahradni-dily/snimac\\_-teplota-nasavaneho-vzduchu-0-280-130-085/](http://www.automatejcek.cz/nahradni-dily/snimac_-teplota-nasavaneho-vzduchu-0-280-130-085/)

### **13 Seznam příloh**

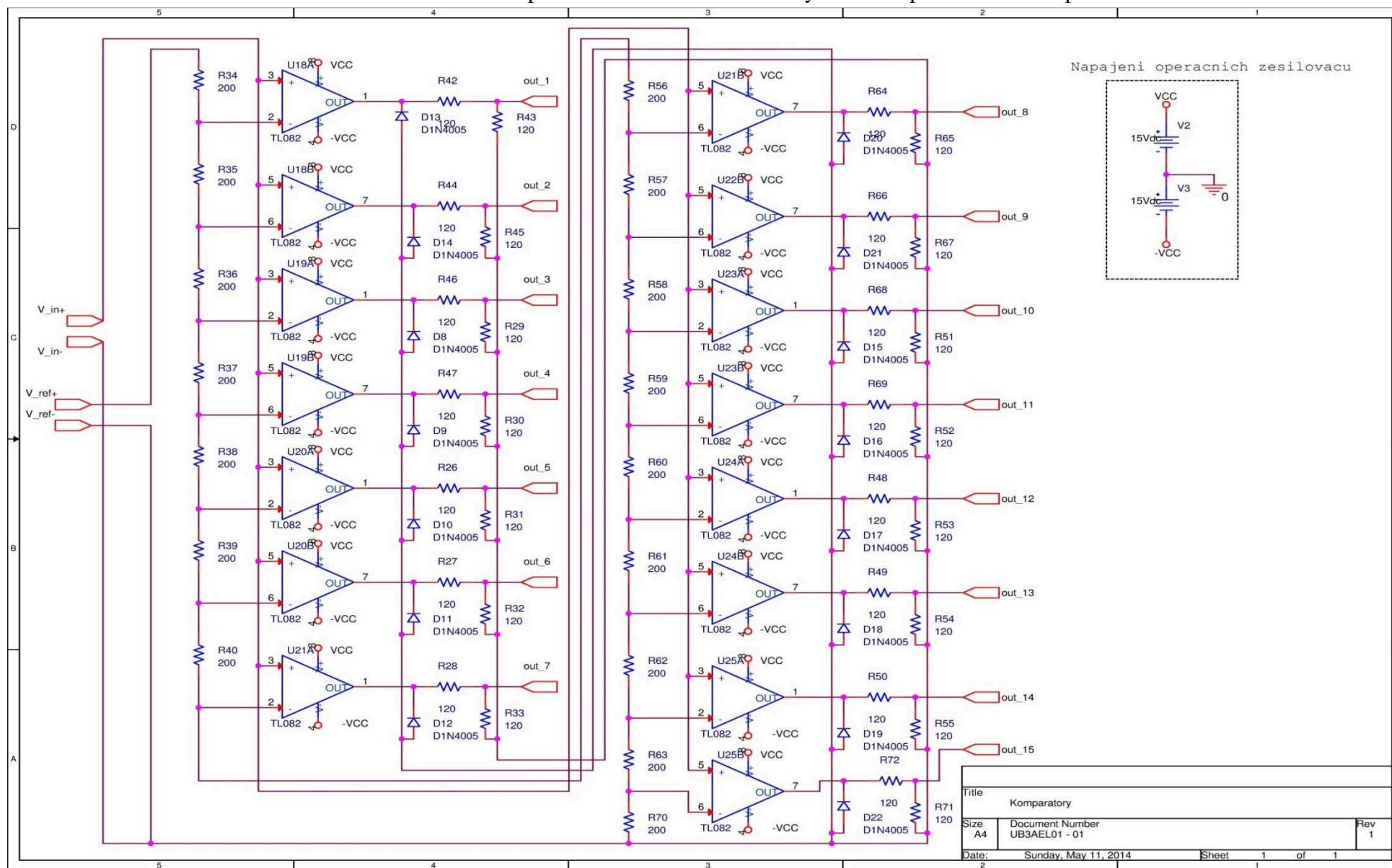
Příloha 1 – Obvodové schéma hierarchického bloku Komparace simulačního modelu čtyřbitového paralelního A/D převodníku.

Příloha 2 – Obvodové schéma hierarchického bloku Paměť simulačního modelu čtyřbitového paralelního A/D převodníku.

Příloha 3 – CD s textem bakalářské práce a simulačními modely pro program OrCAD



Příloha 1: Obvodové schéma hierarchického bloku Komparace simulačního modelu čtyřbitového paralelního A/D převodníku.



Příloha 2: Obvodové schéma hierarchického bloku Paměť simulačního modelu čtyřbitového paralelního A/D převodníku.

